

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»**

16+
ISSN 2071-6168

**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 2

**Тула
Издательство ТулГУ
2024**

Председатель

Кравченко О.А., д-р техн. наук.

Первый заместитель председателя

Воротилин М.С., д-р техн. наук.

Заместитель председателя

Прейс В.В., д-р техн. наук, авторизованный представитель Издательства ТулГУ в РИНЦ.

Ответственный секретарь

Моргунова Е.В., авторизованный представитель ТулГУ в РИНЦ.

Члены редакционного совета:

Батанина И.А., д-р полит. наук –

гл. редактор серии «Гуманитарные науки»;

Берестнев М.А., канд. юрид. наук –

гл. редактор серии «Экономические и юридические науки»;

Борискин О.И., д-р техн. наук –

гл. редактор серии «Технические науки»;

Егоров В.Н., канд. пед. наук –

гл. редактор серии «Физическая культура. Спорт»;

Заславская О.В., д-р пед. наук –

гл. редактор серии «Педагогика»;

Качурин Н.М., д-р техн. наук –

гл. редактор серии «Науки о Земле»;

Понаморева О.Н., д-р хим. наук –

гл. редактор серии «Естественные науки».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор

Борискин О.И., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Заместитель главного редактора

Ларин С.Н., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Ответственный секретарь

Яковлев Б.С., канд. техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Авторизованный представитель ТулГУ в РИНЦ

Журин А.В., канд. техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Члены редакционной коллегии:

Агуреев И.Е., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Анцев А.В.*, д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Анцев В.Ю.*, д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Бабкин А.С.*, д-р техн. наук (ЛГТУ, г. Липецк);*Бабочкин Г.И.*, д-р техн. наук (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва);*Вальтер А.И.*, д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Вартаков М.В.*, д-р техн. наук (Московский политехнический университет, г. Москва);*Васин С.А.*, д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Волгин В.М.*, д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Гринчар Н.Г.*, д-р техн. наук (Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва);*Дикусар А.И.*, чл.-корр. АН Молдовы, д-р хим. наук (Институт

прикладной физики АН Молдовы, г. Кишинев);

Добровольский Н.М., д-р физ.-мат. наук (ТГПУ, г. Тула);*Жулай В.А.*, д-р техн. наук (Воронежский государственный

технический университет, г. Воронеж);

Запомель Я., д-р техн. наук (Технический университет Острavy,

Чехия, г. Острава);

Золотухин В.И., д-р техн. наук (ТулГУ, НПП «Вулкан-ТМ»,

г. Тула);

Крюков В.А., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Куц В.В.*, д-р техн. наук (Юго-Западный государственный

университет, г. Курск);

Лавриненко В.Ю., д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана,

г. Москва);

Ивахненко А.Г., д-р техн. наук (Юго-Западный государственный

университет, г. Курск);

Колтунович Т.Н., д-р техн. наук (Люблинский технологический

университет, Польша, г. Люблин);

Коновалов А.В., д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана,

г. Москва);

Костров Б.В., д-р техн. наук (Рязанский государственный

радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, г. Рязань);

Ларкин Е.В., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Мецгеряков В.Н.*, д-р техн. наук (Липецкий государственный

технический университет (ЛГТУ), г. Липецк);

Мозжечков В.А., д-р техн. наук (АО «Тулаэлектропривод»,

г. Тула);

Романович А.А., д-р техн. наук (Белгородский государственный

технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород);

Савин Л.А., д-р техн. наук (Орловский государственный

университет имени И.С. Тургенева, г. Орёл);

Степанов В.М., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Сычужов А.А.*, д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Титов В.С.*, д-р техн. наук (Юго-Западный государственный

университет, г. Курск);

Трегубов В.И., д-р техн. наук (АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н.

Ганичева», г. Тула);

Черняев А.В., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);*Шолохов М.А.*, д-р техн. наук (УрФУ имени первого Президента

России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург);

Юдин С.В., д-р техн. наук (Российский экономический

университет им. Г.В. Плеханова, Тульский филиал, г. Тула);

Яцун С.Ф., д-р техн. наук (Юго-Западный государственный

университет, г. Курск).

Сборник зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). ПИ № ФС77-75986 от 19 июня 2019 г.

Подписной индекс сборника 27851 по Объединённому каталогу «Пресса России».

Сборник включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук, утвержденный ВАК Минобрнауки РФ, по следующим научным специальностям:

- 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки);
- 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки);
- 2.3.5 Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);
- 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы (технические науки);
- 2.5.2 Машиноведение (технические науки);
- 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки);
- 2.5.6 Технология машиностроения (технические науки);
- 2.5.7 Технологии и машины обработки давлением (технические науки);
- 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки);
- 2.5.11 Наземные транспортно-технологические средства и комплексы (технические науки);
- 2.5.21 Машины, агрегаты и технологические процессы (технические науки);
- 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства (технические науки).

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.314.58
DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-3-4

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ОТРЕЗНОГО РЕЗЦА С УПРАВЛЯЕМЫМ ПЕРЕДНИМ УГЛОМ

В.С. Сальников, Г.В. Шадский, О.А. Ерзин

Предложено техническое решение отрезного резца с управлением передним углом режущего клина, реализованным поворотом конструктивно выделенного в нем сектора вокруг режущей кромки. Результаты моделирования условий равновесия сил, действующих на поворотный сектор резца на операциях отрезки, подтвердили возможность его технической реализации. Приведены рекомендации по выбору его параметров и определены условия наиболее эффективного использования.

Ключевые слова: операции отрезки, моделирование, условие равновесия сил, поворотный сектор, реакции опор, управления.

Введение. В условиях глобального проникновения цифровых методов во все сферы техники и экономики возрастает роль внедрения оперативного управления в подавляющем большинстве методов обработки, в том числе и обработки резанием. Следует отметить, что в последнем случае достигнут практически предел возможностей управления скоростью, подачей и глубиной резания. Известные исследования показали, что перспективным направлением повышения эффективности процессов резания является управлением кинематическими углами режущего клина инструмента [1, 2, 3, 4, 5].

Техническая реализация инструмента с управляемым передним углом усложняется не стационарности процесса резания. Она определяется большим числом факторов и оказывает негативное влияние практически на все технологические показатели операций лезвийной обработки. Большинство из этих факторов носит стохастический характер (колебаниями припуска на обработку и параметров режима резания, характеристик заготовок, инструмента и оборудования, погрешностями установки инструмента и т.п.). К важнейшим детерминированным факторам следует отнести технологически обусловленное изменение режимных параметров, например, скорости резания при отрезке, подрезке и поперечном точении.

Проведенные ранее исследования [6], базирующиеся на известных моделях Силина С.С. и Безъязычного В.Ф. [7,8] отмечают следующие специфические закономерности, отражающие особенности токарных операций отрезки:

- изменение переднего угла в диапазоне $-10^\circ \geq \gamma \geq 15^\circ$ приводит к уменьшению нормальной составляющей силы стружкообразования на 38%...50%;
- момент поворота режущего клина вокруг режущей кромки, обусловленный действием этой силой носит экстремальный характер и изменяется на 15...25%;
- малые значения момента поворота режущего клина относительно режущей кромки менее (0.02...0.2)Нм указывают на высокую энергоэффективности управления его передним углом.

Постановка задачи исследований. С целью оценки технической реализуемости «интеллектуального» инструмента с управлением передним углом, предложена конструкция, отрезного резца, в которой использован принцип саморегулирования углового положения его поворотного сектора относительно режущей кромки с помощью упругого элемента, увеличивающего его угол поворота при возрастании сил резания (рис. 1).

На рис.1 указаны основные элементы предлагаемого резца: 1 - державка; 2 - поворотный сектор; 3 - режущая пластина; 4 - рычаг; 5, 6, 7 - съемная круговая направляющая, шарикоподшипники и ограничители для шариков соответственно; 8, 9, 10 - серьга, штифт, пружина механизма саморегулирования углового положения поворотного сектора относительно режущей кромки соответственно; 11, 12, 13, 14 - винты крепления режущей пластины, рычага и съемных круговых направляющих к сектору, ограничителей шариков круговых направляющих к державке соответственно.

Конструктивно выделенный элемент предложенного резца – поворотный сектор 2 характеризуется такими же параметрами, что и проходной резец [5, 9]: радиусами сектора R_S и положения его центра масс R_{CS} ; центральным углом или углом заострения β и весом P_S , приложенным к центру масс CS . Угол поворота сектора вокруг режущей кромки задается углами γ , α передним и задним соответственно, отсчитываемыми относительно некоторого 0 положения ($\gamma = 0$). На поворотный сектор действуют нормальные и тангенциальные составляющие

на передней – N_n, F_{nmp} и на задней N_3, F_{3mp} поверхностях режущего клина; усилие управление углом его поворота относительно режущей кромки F_{ynp} ; реакции опор R_A, R_B , верхней и нижней соответственно [9].

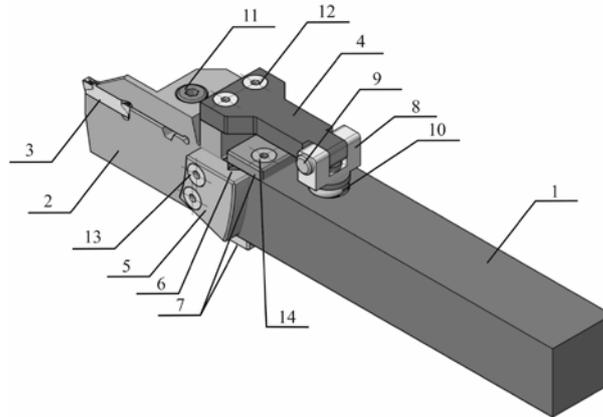


Рис.1. Конструкторское решение отрезного резца с управляемым передним углом.
 (*конструкторская проработка технического решения выполнена аспирантом П.Э. Калиш)

Радиальное базирование режущей пластины 3 в поворотном секторе 2 определяется совпадением ее режущей кромки с центром его поворота. Управляющая сила F_{ynp} прикладывается к поворотному сектору через рычаг длиной h_y и благодаря плечу $H_y = R_s + h_y$ создает момент поворачивающий сектор в нужном направлении.

Указанные выше силы ($N_n, F_{nmp}, N_3, F_{3mp}$), а также координаты точек их приложения к поворотному сектору X_n, X_3 являются нелинейными функциями $f_i(\gamma, T_{otn})|_{\hat{S}_o, \hat{V}_p, \hat{t}_k, \hat{t}_p, \hat{h}_p}$ переднего угла и относительного времени выполнения операции отрезки $T_{otn} = t / t_k$. При их определении используются расчетных фиксированные значения $\hat{S}_o, \hat{V}_p, \hat{t}_k, \hat{t}_p, \hat{h}_p$ оборотной подачи, скорости резания, ширины резца, времени окончания операции (время отрезания) и погрешности установки резца [6].

Условие равновесия поворотного сектора в процессе резания в плоскости перпендикулярной режущей кромке описывается следующей системой уравнений [9]:

$$N_3 \cos \alpha - N_n \sin \gamma + F_{nmp} \cos \gamma + F_{3mp} \sin \alpha - R_A \cos \gamma - R_B \sin \alpha = 0; \quad (1)$$

$$N_n \cos \gamma - N_3 \sin \alpha + F_{3mp} \cos \alpha + F_{nmp} \sin \gamma + P_s - R_B \cos \alpha - R_A \sin \gamma - F_{ynp} = 0 \quad (2)$$

$$M_{n3} - M_{ynp} = 0;$$

$$M_{n3} = N_n \cdot X_n - N_3 \cdot X_3 + P_s \cdot h_{st}; \quad M_{ynp} = F_{ynp} \cdot H_y,$$

где M_{n3} – результирующий момент, поворачивающий сектор резца под действием сил резания; M_{ynp} – момент управления изменяет его углового положения в нужном направлении.

Равновесию поворотного сектора в процессе резания соответствует уравнение (2). Из него следует закон изменения управляющей силы.

$$F_{ynp} = \frac{N_n \cdot X_n - N_3 \cdot X_3 + P_s \cdot R_{cs} \cdot \cos(\gamma + \beta / 2)}{H_y}. \quad (3)$$

Результаты моделирования. Моделирование предложенного инструмента с поворотным сектором проведено на операции отрезки заготовок из стали 40X на режимах, рассмотренных в [9].

Параметры инструмент: отрезной резец с пластиной T15K6 с $\gamma = -10^\circ..+15^\circ$, $\beta = 65^\circ$, $r_1 = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $r = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; державка $B_d \times h_d = 20 \times 20 \text{ мм}$; сектор с $R_s = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $H_y = 30 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

В результате моделирования на основании (1) и (2) получены зависимости значений реакций опор R_A, R_B и F_{ynp} от относительного времени выполнения операции отрезки (рис.2).

Моделирование проводилось при различных значениях углового положения поворотного сектора $\gamma = -10^\circ..+10^\circ$ и подачи на оборот $S_o = 0.05..0.15 \text{ мм/об}$.

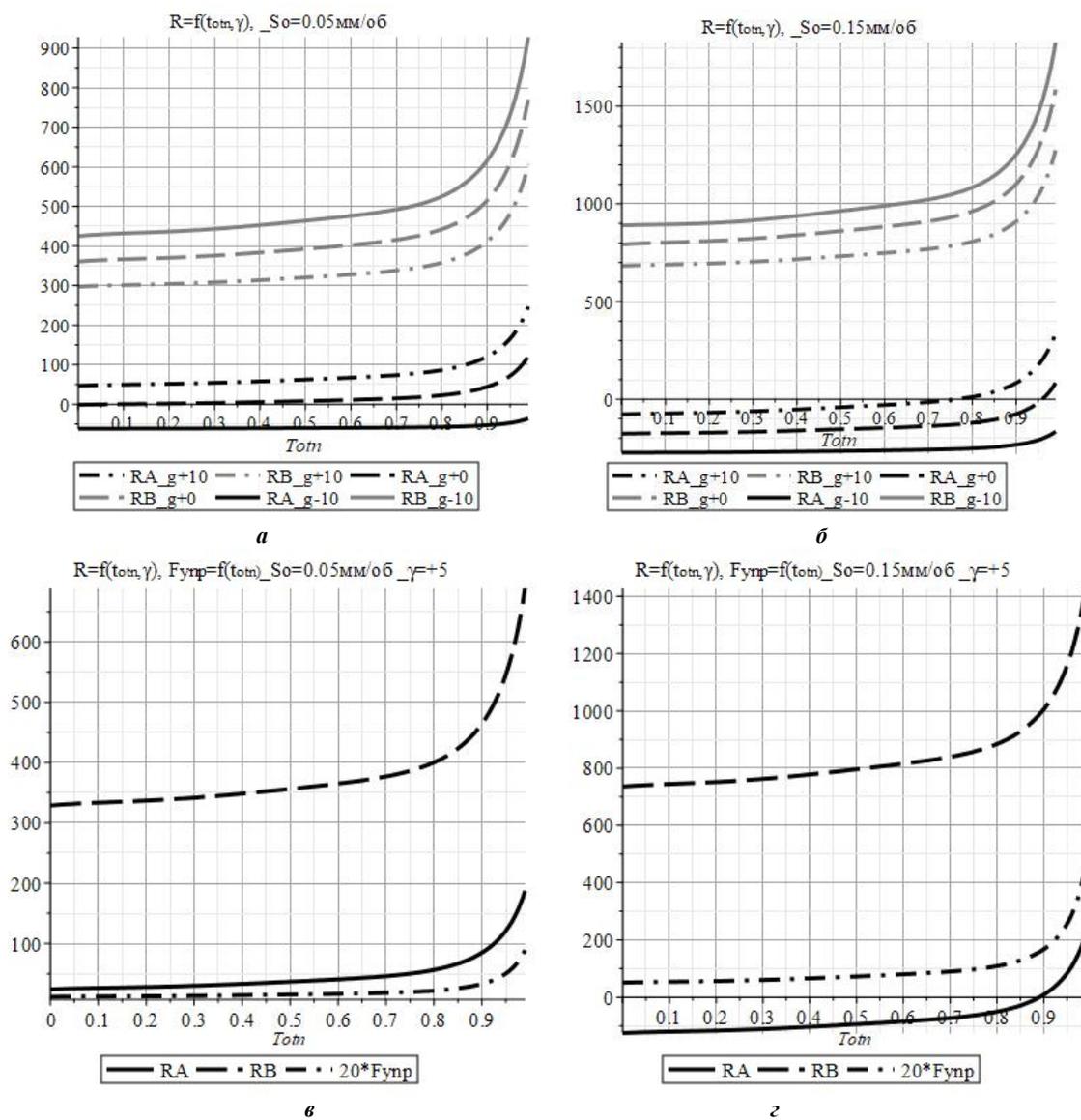


Рис.2. Зависимости $R_A = f(T_{otm}, \gamma)$, $R_B = f(T_{otm}, \gamma)$ и $F_{yup} = f(T_{otm})$: а и в - при $S_o = 0.05 \text{ мм/об}$; б и г - при $S_o = 0.15 \text{ мм/об}$; а и б - при $\gamma = -10^\circ, 0^\circ, +10^\circ$; в и г - при $\gamma = +5^\circ$

Из полученных зависимостей можно видеть, что при врезании инструмента в заготовку R_A, R_B интенсивно увеличиваются только на завершающем этапе операции при $T_{otm} > 0.8 \dots 0.85$. До этого момента реакции опор при $S_o = 0.05 \text{ мм/об}$ увеличиваются незначительно в зависимости от углового положения поворотного сектора: R_A на $70 \dots 10 \text{ Н}$, R_B на $50 \dots 100 \text{ Н}$. После него на $170 \dots 20 \text{ Н}$ и $250 \dots 400 \text{ Н}$ соответственно (см. рис. 2а). При $S_o = 0.15 \text{ мм/об}$ характер зависимостей сохраняется, реакции опор увеличиваются до этого момента: R_A на $100 \dots 30 \text{ Н}$, R_B на $100 \dots 200 \text{ Н}$, после него на $350 \dots 70 \text{ Н}$ и $500 \dots 700 \text{ Н}$ соответственно (см. рис. 2б). По мере уменьшения угла поворота сектора не зависимо от подачи на оборот реакция R_A уменьшается, а R_B увеличивается, причем на завершающем этапе R_A может изменить знак, то есть возникают размыкающие усилия в верхней части круговых направляющих.

Из рис.2б,г видно, что для стабилизации углового положения поворотного сектора $\gamma = +5^\circ$ при заглабления инструмента в заготовку в предложенном техническом решении достаточно приложить управляющую силу $F_{yup} = f(T_{otm})$ (3) более чем на порядок меньшую значений реакции в верхней опоре $R_A = f(T_{otm})$ и практически повторяющую закон ее изменения. Причем для $S_o = 0.05 \text{ мм/об}$ $R_A > 0$ и $F_{yup} < R_A$, для $S_o = 0.15 \text{ мм/об}$ $F_{yup} > R_A$, но при $T_{otm} = 0.9$ изменяет знак с $R_A < 0$ на $R_A > 0$

Закключение. Проведенные исследования подтвердили возможность технической реализации предложенного технического решение «интеллектуального» инструмента с управлением процессом резания на операциях отрезки по переднему углу режущего клина. Отмечено, что канал управления передним углом режущего клина в связи с малыми усилиями и подвижными массами может обеспечить высокое быстродействие. Таким образом предложенное устройство может быть перспективным при управлении процессами упругопластического деформирования материала в зоне резания, то есть на частотах образования сегментов стружки.

Список литературы

1. Sellmer D. High-performance processing by means of the "intellektualnyq" cutting tools. Werkstatt und Betrieb, 2001, № 3. P. 38 – 40.
2. Шадский Г.В. Принципы регулирования направления вектора внешнего воздействия при лезвийном разрушении материала в режиме реального времени / Г.В. Шадский, В.С. Сальников, О.А. Ерзин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. Вып. 10. С. 585-590.
3. Шадский Г.В. Перспективы управления кинематическими углами режущего клина на операциях точения / Г.В. Шадский, В.С. Сальников, О.А. Ерзин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. Вып. 12. С.342-349.
4. Шадский Г.В. Анализ технических возможностей кинематическими углами режущего клина при точении / Г.В. Шадский, В.С. Сальников, О.А. Ерзин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. Вып. 12. С.360-367.
5. Патент на изобретение RU2741397C1 Резец с изменяемым передним углом / Г.В. Шадский, В.С. Сальников, О.А. Ерзин / опубликован 25.01.2021, Приоритет RU2020129113A 02.09.2020.
6. Сальников В.С, Шадский Г.В, Ерзин О.А. Перспективы управления передним углом режущего клина при технологической обусловленности изменения скорости резания / В.С. Сальников, Г.В. Шадский, О.А. Ерзин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 12. С. 276-284.
7. Силин С.С. Методы подобия при резании материалов. М.: Машиностроение, 1979. 162 с.
8. Безязычный В.Ф. Расчет режимов резания / В.Ф. Безязычный, И.Н. Аверьянов, А.В. Кордюков / Учебное пособие. Рыбинск: РГАТА.2009. 185 с.
9. Сальников В.С. Анализ конструкторского решения «интеллектуального» режущего инструмента с управляемым передним углом / В.С. Сальников, Г.В. Шадский, О.А. Ерзин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. Вып. 10. С. 400-406.

Сальников Владимир Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, vsalnikov.prof@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Шадский Геннадий Викторович, д-р техн. наук, профессор, chief.gennadiischadscky@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Ерзин Олег Александрович, канд. техн. наук, доцент, erzin79@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

TECHNICAL SOLUTION OF A CUTTING TURNING TOOL WITH A CONTROLLED FRONT ANGLE

V.S. Salnikov, G.V. Shadsky, O.A. Erzin

A technical solution is proposed for a cutting turning tool with control of the front angle of the cutting wedge, realized by turning the sector structurally allocated in it around the cutting edge. The results of modeling the conditions of equilibrium of forces acting on the rotary sector of the cutting turning tool cutting operations confirmed the possibility of its technical implementation. Recommendations on the choice of its parameters are given and the conditions for the most effective use are determined.

Key words: segment operations, modeling, balance of forces condition, rotary sector, support reactions, control moment.

Salnikov Vladimir Sergeevich, doctor of technical sciences, professor, vsalnikov.prof@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Shadsky Gennady Viktorovich, doctor of technical sciences, professor, chief.gennadiischadscky@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Erzin Oleg Aleksandrovich, candidate of technical sciences, docent, erzin79@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004:3:004.9:629.7

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-7-8

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

А.К. Гришко, Чан Минь Хай, Н.К. Юрков

Представлена обобщенная постановка задачи структурно-параметрического синтеза сложных технических систем в условиях неопределенности по результатам экспериментальных данных, дополняющая методологию системного инжиниринга в управлении жизненным циклом и имеющая актуальное значение для экономики страны. Предложены подходы к решению задачи восстановления проектно-функциональных связей и уточнения проектных параметров и характеристик беспилотных систем, полученных по результатам полигонных испытаний. В качестве примера рассматривается прототип дозвуковой беспилотной системы с заданными проектными требованиями. Целью работы является разработка методики статистического анализа структурно-параметрических проектных связей и статистических оценок соответствия проектных параметров беспилотных систем в условиях неопределенности по экспериментально-статистическим данным. Методы. Методологической основой является теория структурно-параметрического синтеза и статистического анализа сложных систем, а также методы математической статистики и параметрической оптимизации. Результаты. Сформулирована задача структурно-параметрического синтеза путем дополнения ее операторами раскрытия неконтролируемых факторов. С целью нахождения аналитического решения проведена декомпозиция задачи и показана необходимость решения совокупности взаимосвязанных задач по поиску соответствия проектных параметров и экспериментальным данным. Качество восстанавливаемых зависимостей оценивалось по критерию регулярности и несмещенности. Представлен программно-методический комплекс статистического синтеза беспилотной системы. Выводы. Решение поставленной задачи позволяет анализировать соответствие проектных параметров и характеристик беспилотных систем экспериментальным данным, что позволяет восстанавливать проектно-функциональные связи проектируемой беспилотной системы. Это позволит более эффективно использовать финансовые, производственные и временные ресурсы при проектировании беспилотных систем.

Ключевые слова: беспилотные системы, структурно-параметрический синтез, неопределённость, статистический анализ.

Введение. Проектирование сложных технических систем является нетривиальной задачей и предусматривает определенные этапы, в том числе, декомпозицию их на подсистемы, проектирование которых также может рассматриваться как самостоятельная конструкторская задача. Иногда эти процессы называют внешним и внутренним проектированием, которые определяют структуру системы, после чего для выбранного варианта проектного решения находят оптимальные параметры ее функционирования [1-4].

Но внешняя среда, в которой функционирует система, как правило, обладает множеством неконтролируемых факторов, которые в процессе проектирования не сразу проявляются и которые необходимо уточнять по результатам анализа экспериментальных данных. То есть в задаче проектирования присутствуют факторы неопределенности и на его начальных этапах приходится использовать нечеткие методы принятия решений и, так называемые «мягкие вычисления» [5-7].

Проблемам статистического синтеза проектных решений при разработке сложных систем и разработке методов оптимизации по экспериментально-статистическим данным посвящены работы [8,9], но одновременный учет многопараметрической, многопараметрической и многофакторной неопределенности или не представляется возможным или реализуется в достаточно узкоспециализированных задачах проектирования, что требует их дальнейшего методологического развития.

Основные подходы и методы процесса проектирования сложной технической системы в условиях неопределённости. Поскольку сложные системы, как правило, обладают свойством иерархичности, то есть, подчиненности систем низшего уровня системам высшего уровня, то логично процесс проектирования разбивать на определенные этапы. Требования к системам низшего ранга определяются параметрами систем высшего ранга [10,11]. Количество этих параметров и соответствующих критериев может быть достаточно большим, они могут быть различными по своей природе и противоречащими друг другу.

На практике процесс проектирования помимо поступательного развития имеет также и этапы итерации, когда после анализа и математического расчета некоторой подсистемы возвращаются на предыдущий уровень и производят коррекцию расчетов, используя метод последовательных приближений. Декомпозиция системы с целью упрощения также может негативно сказаться на этапах проектирования, так как межсистемные связи упрощаются, некоторые не учитываются, а какие-то вообще неизвестны проектировщикам. Зависимости между параметрами и характеристиками системы редко имеют линейный характер и могут проявлять себя не на всех режимах эксплуатации. То есть, проектировщику надо обладать полным набором параметров и характеристик, позволяющих получить адекватное описание системы и найти компромисс между сложностью реального явления и простотой его описания, позволяющей корректно применять математический аппарат для анализа ее функционирования [1-4, 5-7].

Завершающими этапами проектирования являются полигонные испытания, позволяющие получить данные, на основе которых проводится статистический анализ. Он позволяет уточнить полноту набора этих параметров и характеристик, а также характер межсистемных связей.

При этом среда, в которой будет функционировать проектируемая система, чаще всего, имеет недетерминированный характер, и в процессе функционирования продолжает динамично изменяться.

Иначе говоря, имеют место два вида неопределенности. Одна из них связана с принятием проектных решений и имеет многокритериальный характер, а другая характеризует многофакторность внешней среды [12].

Это значит, что все сказанное выше относится к классу задач многокритериальной многопараметрической многофакторной идентификации показателей и характеристик сложных технических систем и их структурно-параметрической оптимизации.

Аналитическое решение данной задачи достаточно сложное и требует ее декомпозицию на частные взаимоувязанные задачи. Далее предлагается рассмотреть решение этих задач как процесс проектирования сложной технической системы, в частности, дозвуковой (0,7-0,9 Мах) беспилотной системы (БС), функционирующей в неопределенных условиях внешней среды (погодные условия, искусственное противодействие и т.д.). Беспилотные системы этого класса имеют широкое распространение и являются многоцелевыми средствами двойного назначения.

Структурно-параметрический синтез сложных технических систем. Как уже говорилось выше, при выборе в некотором смысле лучшего проектного решения предпочтение отдается оптимальному варианту, что предполагает процедуру оптимизации проектных параметров системы [1-4]:

$$J^{opt} = \max_{a \in A} \max_{\substack{b \in B \\ z(t) \in Z}} J(a, z(t), b), \quad (1.1)$$

где J – выбранный критерий оптимальности, a - вектор проектных параметров, A - область допустимых проектных параметров, $z(t)$ - вектор режимов движения системы, Z - область допустимых режимов движения системы, b - вектор параметров, характеризующих структуру системы, B - область допустимых структурных вариантов.

Как уже говорилось выше, для проектируемой системы необходимо определить ее структуру на основе критерия $\max_{b \in B} J(a, z(t), b)$, после чего провести процедуру параметрической оптимизации

$$\max_{\substack{a \in A \\ z(t) \in Z}} J(a, z(t), b^*),$$

варьируя ее параметры.

Поскольку в задаче (1.1) присутствуют факторы неопределенности, то в нее надо включить операторы их раскрытия. Проектировщики рассматривают, как правило, два вида неопределенностей: многофакторную неопределенность внешней среды и многокритериальную неопределенность при принятии проектных решений.

Одновременное принятие во внимание всех заданных критериев оптимальности затрудняет формализацию задачи структурно-параметрического синтеза и в соответствии с источниками [2,4,13,14] будет представлена в виде:

$$J^{opt} = \max_{\substack{a \in A \\ z(t) \in Z}} \max_{b \in B} \inf_{\omega \in W} opt J(a, z(t), b, \omega). \quad (1.2)$$

где $J(a, z(t), b, \omega)$ - векторный критерий, $opt J(\cdot)$ - оператор, реализующий оптимальные проектные параметры, $\inf(\cdot)$ – оператор, осуществляющий свертки факторов неопределенности, где ω - вектор факторов неопределенности, W - область возможных состояний внешней среды.

Статистический анализ, позволяющий оценить достоверность и полноту экспериментальных характеристик, проводится по критериям регулярности (1.3) и несмещённости (1.4).

$$\Delta^2(B) = \sum_{i=1}^{N_A} (J_M - J_T)_i^2 / \sum_{i=1}^{N_B} (J_T)_i^2 \Rightarrow \min, \quad (1.3)$$

$$n_{CM} = \sum_{i=1}^N (J_A - J_B)_i^2 / \sum_{i=1}^N (J_T)_i^2 \Rightarrow \min, \quad (1.4)$$

здесь N - объем статистической выборки.

Характеристики и перекрёстные связи аэродинамической модели беспилотной системы определяются в соответствии с источниками [13-15]:

$$\begin{cases}
 c_x^M = c_{x_0} + r_1(\alpha^2 + \beta^2) + r_2(\delta_\theta^2 + \delta_\Psi^2) + r_3\delta_3^2 + r_4(\alpha\delta_\theta + \beta\delta_\Psi) \\
 + r_5(\alpha^2 + \beta^2) + r_6(\alpha^2\beta^2), \\
 c_y^M = c_y^\alpha\alpha + c_y^\delta\delta_\theta + c_{10}\alpha^3 + c_{11}\alpha\beta^2 + c_{12}\alpha^2\delta_\theta + c_{13}\beta^2\delta_\theta + c_{14}\alpha\beta\delta_\Psi \\
 + c_{20}\alpha\delta_3 + c_y^{\omega_z}w_z, \\
 c_z^M = -c_y^\alpha\beta - c_y^\delta\delta_\Psi - c_{10}\beta^3 - c_{11}\beta\alpha^2 - c_{12}\beta^2\delta_\Psi - c_{13}\alpha^2\delta_\Psi - c_{14}\alpha\beta\delta_\theta, \\
 + c_{20}\alpha\beta + c_z^{\omega_y}w_y, \\
 m_y^M = m_z^\alpha\beta + m_z^\delta\delta_\Psi + b_{10}\beta^3 + b_{11}\beta\alpha^2 + b_{12}\beta^2\delta_\Psi + b_{13}\alpha^2\delta_\Psi + b_{14}\alpha\beta\delta_\theta \\
 + b_{20}\alpha\beta, \\
 m_z^M = m_z^\alpha\beta + m_z^\delta\delta_\Psi + b_{10}\alpha^3 + b_{11}\alpha\beta^2 + b_{12}\alpha^2\delta_\theta + b_{13}\beta^2\delta_\theta + b_{14}\alpha\beta\delta_\Psi \\
 + b_{20}\beta\delta_3,
 \end{cases} \quad (1.6)$$

здесь: $c_x^M, c_y^M, c_z^M, m_x^M, m_y^M, m_z^M$ - аэродинамические коэффициенты математической модели беспилотной системы,

α - угол атаки, β - угол скольжения беспилотной системы; $\delta_\theta = \frac{1}{2}(\delta_2 + \delta_4)$ - угол отклонения рулей БС в вертикальной плоскости;

$\delta_\Psi = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_3)$ - угол отклонения рулей БС в горизонтальной плоскости;

$\delta_3 = \frac{1}{4}(\delta_3 - \delta_1 + \delta_4 - \delta_2)$ - угол отклонения рулей БС по крену,

$\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ - углы отклонения рулей БС по траекториям движения (Рис. 1).

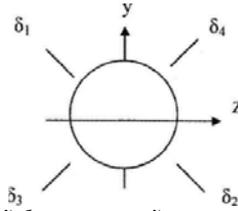


Рис. 1. Углы отклонения рулей беспилотной системы по траекториям движения

Линейные параметры $c_{x_0}, c_x^\alpha, c_y^\delta, m_z^\alpha, m_z^\delta, r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, c_{10}, c_{11}, c_{12}, c_{14}, c_{20}, b_{10}, b_{11}, b_{12}, b_{14}, b_{20}$ определяются из условия минимума критерия регулярности, что соответствует процессу выбора структуры беспилотной системы [13], поскольку аэродинамические коэффициенты $c_{x_0}, c_x^\alpha, c_y^\delta, m_z^\alpha, m_z^\delta$ определяют аэродинамическую схему беспилотной системы и режимы ее движения.

Идентификация параметров и характеристик беспилотной системы в условиях неопределенности.

Совокупность требований, ограничений и критериев проектируемой беспилотной системы формирует векторный критерий [2,13-15], в состав которого входят: $J = (\rho_{\text{пром}}, (\varphi - \frac{\pi}{2}), V, \Delta^2(B))$, где $\rho_{\text{пром}}$ - величина прома-

ха беспилотной системы, $\rho_{\text{пром}} \Rightarrow \min$, $(\varphi - \frac{\pi}{2})^2$ - требование по углу подлета к цели, $(\varphi - \frac{\pi}{2})^2 \Rightarrow \min$, V - скорость подлета к цели, $V \Rightarrow \max$, $\Delta^2(B)$ статистический критерий регулярности $\Delta^2(B) \Rightarrow \min$.

Идентификации проектных параметров и характеристик беспилотной системы состоит в выборе такого проектного решения d , которое удовлетворяет системе функциональных ограничений:

$$\begin{cases}
 \rho_{\text{пром}}(d) \leq \rho_{\text{пром}}^* \\
 \varphi(d) \geq \frac{\pi}{2} - \varepsilon, \\
 V(d) \geq V^*, \\
 \Delta^2(c_x) \leq \Delta^2(c_x)^*, \\
 \Delta^2(c_y) \leq \Delta^2(c_y)^*, \\
 \Delta^2(c_z) \leq \Delta^2(c_z)^*, \\
 \Delta^2(m_y) \leq \Delta^2(m_y)^*, \\
 \Delta^2(m_z) \leq \Delta^2(m_z)^*,
 \end{cases} \quad (1.7)$$

где $\rho_{прог}^*, V^*, \Delta^2(c_x)^*, \Delta^2(c_y)^*, \Delta^2(c_z)^*, \Delta^2(m_y)^*, \Delta^2(m_z)^*$ - заданные уровни критериальных ограничений, обеспечивающих безопасность режимов полета. Здесь $\Delta^2(\bullet)$ есть критерии регулярности, рассчитываемые для всех аэродинамических коэффициентов.

Система функциональных ограничений содержит девять частных критериев оптимальности:

$$J_{opt} = (\rho_{прог}, \varphi - \frac{\pi}{2}, V, \Delta^2(c_x), \Delta^2(c_y), \Delta^2(c_z), \Delta^2(m_y), \Delta^2(m_z), \Delta^2(m_x))$$

При этом возникает проблема многокритериальной оптимизации, а, значит, необходимость определения правил преобразования (свертки) частных критериев в один обобщенный (векторный) критерий.

На основании вышесказанного векторный критерий будет иметь следующий вид:

$$J_1 = \min_{d \in D} \left[\alpha_1 \cdot \rho_{прог} + \alpha_2 \cdot \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right)^2 + \alpha_3 (V) + \alpha_4 \Delta^2(B) \right], \tag{1.8}$$

где α_i - весовые коэффициенты, $\alpha_i \geq 0, i = \overline{1,7}; \sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1$; d - вектор проектного решения; D - область допустимых решений.

Таким образом, аэродинамическая модель беспилотной системы восстанавливается по найденным производным:

$$\begin{cases} c_x = c_{x_0} + \frac{\partial c_x}{\partial \alpha} \alpha + \frac{\partial c_x}{\partial \beta} \beta + \frac{\partial c_x}{\partial \omega_z} \omega_z + \frac{\partial c_x}{\partial \omega_y} \omega_y + \frac{\partial c_x}{\partial \delta_1} \delta_1 + \frac{\partial c_x}{\partial \delta_2} \delta_2 + \frac{\partial c_x}{\partial M} M; \\ c_y = \frac{\partial c_y}{\partial \alpha} \alpha + \frac{\partial c_y}{\partial \beta} \beta + \frac{\partial c_y}{\partial \omega_z} \omega_z + \frac{\partial c_y}{\partial \omega_y} \omega_y + \frac{\partial c_y}{\partial \delta_1} \delta_1 + \frac{\partial c_y}{\partial \delta_2} \delta_2 + \frac{\partial c_y}{\partial M} M; \\ c_z = \frac{\partial c_z}{\partial \alpha} \alpha + \frac{\partial c_z}{\partial \beta} \beta + \frac{\partial c_z}{\partial \omega_z} \omega_z + \frac{\partial c_z}{\partial \omega_y} \omega_y + \frac{\partial c_z}{\partial \delta_1} \delta_1 + \frac{\partial c_z}{\partial \delta_2} \delta_2 + \frac{\partial c_z}{\partial M} M; \\ M_y = \frac{\partial M_y}{\partial \alpha} \alpha + \frac{\partial M_y}{\partial \beta} \beta + \frac{\partial M_y}{\partial \omega_z} \omega_z + \frac{\partial M_y}{\partial \omega_y} \omega_y + \frac{\partial M_y}{\partial \delta_1} \delta_1 + \frac{\partial M_y}{\partial \delta_2} \delta_2 + \frac{\partial M_y}{\partial M} M; \\ M_z = \frac{\partial M_z}{\partial \alpha} \alpha + \frac{\partial M_z}{\partial \beta} \beta + \frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \omega_z + \frac{\partial M_z}{\partial \omega_y} \omega_y + \frac{\partial M_z}{\partial \delta_1} \delta_1 + \frac{\partial M_z}{\partial \delta_2} \delta_2 + \frac{\partial M_z}{\partial M} M; \end{cases} \tag{1.9}$$

Векторный критерий оценки качества беспилотной системы представлен в форме:

$$J_2 = \alpha_1 \rho + \alpha_2 (\varphi - \pi / 2) + \alpha_3 [\Delta^2(B)_{c_x} + \Delta^2(B)_{c_y} + \Delta^2(B)_{c_z} + \Delta^2(B)_{m_y} + \Delta^2(B)_{m_z}] + \alpha_4 \mu, \tag{1.10}$$

где ρ - промах, φ - угол тангажа, α_i - весовые коэффициенты, сумма которых равняется 1, μ - мера области достижимости.

Программно-методический комплекс статистического синтеза беспилотной системы представлен на рис. 2.

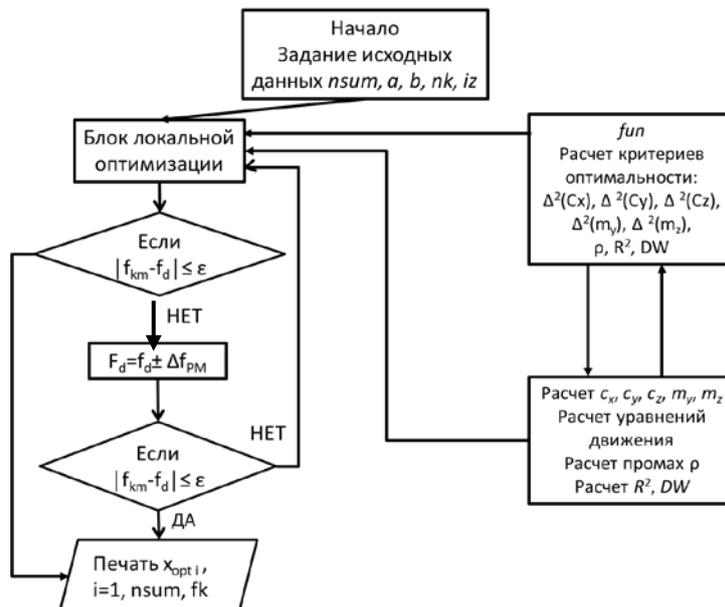


Рис. 2. Программно-методический комплекс статистического синтеза беспилотной системы

Заключение. Сформирована задача структурно-параметрического синтеза путем дополнения ее операторами раскрытия неконтролируемых факторов. С целью нахождения аналитического решения проведена декомпозиция задачи и показана необходимость решения совокупности взаимоувязанных задач по поиску соответствия проектных параметров и экспериментальным данным. Качество восстанавливаемых зависимостей оценивалось по критериям регулярности и несмещенности.

Решение поставленной задачи позволяет:

- разработать методику статистического анализа структурно-параметрических проектных связей проектируемой беспилотной системы, которая позволяет восстановить проектно-функциональные связи между проектными параметрами и критериальными оценками аэродинамической модели беспилотной системы.

- разработать метод статистической оценки полноты аэродинамических характеристик беспилотной системы по экспериментальным данным, позволяющий оценить полноту экспериментальной модели разработанной беспилотной системы по критериям регулярности и несмещенности, отличающийся от известных тем, что данный метод обобщает аналитические процедуры метода в пространстве обратных функций, которые показывают насколько построенная аппроксимирующая модель объясняет закономерности, содержащиеся в статистической выборке.

- разработать математические модели и алгоритмы синтеза аэродинамических характеристик беспилотных систем по экспериментальным данным [16-18], которые позволяют сократить финансовые и временные затраты на аэродинамическую продувку в сверхзвуковой аэродинамической трубе и полигонные испытания при проектировании и разработке беспилотных систем.

Список литературы

1. Control System Design. Goodwin G., Graebe S., Salgado M. Prentice Hall, 2001. 908 p.
2. Practical Optimization. Gill P., Murray W., Wright M. Academic Press Inc. (London) Ltd., 1981. 509 p.
3. Черноруцкий, И.Г. Методы оптимизации и принятия решений. Спб.: Изд-во «Лань», 2001. 384 с.
4. Дубов Ю.А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. М.: Наука, 1986 г. С. 296.
5. Орловский, С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука. 1981. 203 с.
6. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Information and Control. 1965. Т. 8. № 3. p. 338-353
7. Grishko A., Goryachev N., Yurkov N. Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems. International Journal of Applied Engineering Research. Volume 10, Number 23 (2015), pp. 43842–43845.
8. Балык В.М. Статистический синтез проектных решений при разработке сложных систем. М.: МАИ. 2011. 278 с.
9. Воцинин А.П. Разработка и внедрение методов оптимизации объектов управления по экспериментально-статистическим моделям: дис. ... док. тех. наук: 05.13.01. МЭИ, Москва, 1984. 416 с.
10. Grishko, A., Adnreev, P., Goryachev, N., Trusov, V., Danilova, E. Reliability control of complex systems at different stages of their life cycle. 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2018; Yekaterinburg; Russian Federation; 7-8 May 2018. Pages 220-223. DOI: 10.1109/USBEREIT.2018.8384589.
11. Grishko A., Kochegarov I., Yurkov N. Structural and Parameter Optimization of the System of Interconnected Processes of Building Complex Radio-Electronic Devices. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). Polyana, Svalyava, (Zakarpattia), Ukraine, February 21 - 25, 2017, pp. 192–194. DOI: 10.1109/CADSM.2017.7916112.
12. Нгуен К. Т., Назаров А. Н., Чан М. Х. Многофакторная и многокритериальная неопределенность при аэродинамическом моделировании БЛА по летным данным / Электромагнитные волны и электронные системы. 2017. № 1. С. 59-68.
13. Корянов В. В., Нгуен В. Т. Математическая модель информационного статистического синтеза беспилотных летательных аппаратов по экспериментальным данным / Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. № 2.
14. Куприков М. Ю. Структурно-параметрический синтез геометрического облика самолета при "жестких" ограничениях. М.: МАИ, 2003. с. 64.
15. Нгуен К. Т., Назаров А. Н., Чан М. Х. Статистический подход к задаче идентификации аэродинамических характеристик беспилотного летательного аппарата по экспериментальным данным / Успехи современной радиоэлектроники. 2017. № 1. С. 10-16.
16. Grishko, A. Control algorithm for decision making in multi-criteria optimization problems. Journal of Physics: Conference Series. 2022. 2388(1), 012035.
17. Nguyen Quang Thuong, Tran Minh Hai, Nguyen Xuan Tien, Pham Tuan Anh, On the Statically Method Selection of Unmanned Aerial Vehicle Characteristic Stable to Multifactor Uncertainty// 11th IEEE International Conference Application of information and communication technologies. Moscow, Russian, 2017, p. 80-84, Vol 1.
18. Tran Minh Hai, N.Q. Thuong, Pashchenko F.F. A statistical approach to correct the projective solutions for development of unmanned aerial vehicles based on stable mathematical models under uncertainty conditions// 11th International Conference «Management of Large-scale System Development. Moscow, Russian, 2018, p. 38-46.

Гришко Алексей Константинович, канд. тех. наук, доцент, alexey-grishko@rambler.ru, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет,

Чан Минь Хай, соискатель степени канд. тех. наук, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет,

Юрков Николай Кондратьевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, yurkov_nk@mail.ru, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет

STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS OF UNMANNED SYSTEMS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY
BASED ON STATISTICAL ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA

A.K. Grishko, N.K. Yurkov, M.H. Tran А.К. Гришко, Чан Минь Хай, Н.К. Юрков

A generalized formulation of the problem of structural-parametric synthesis of complex technical systems under conditions of uncertainty based on the results of experimental data is presented, which complements the methodology of systems engineering in life cycle management and is of current importance for the country's economy. Approaches to solving the problem of restoring design-functional connections and clarifying the design parameters and characteristics of unmanned systems obtained from the results of field tests are proposed. As an example, a prototype of a subsonic unmanned system with specified design requirements is considered. The goal of the work is to develop a methodology for statistical analysis of structural-parametric design connections and statistical assessments of the compliance of design parameters of unmanned systems under conditions of uncertainty based on experimental data. Methods. The methodological basis is the theory of structural-parametric synthesis and statistical analysis of complex systems, as well as methods of mathematical statistics and parametric optimization. Results. The problem of structural-parametric synthesis is formed by supplementing it with operators for disclosing uncontrollable factors. In order to find an analytical solution, a decomposition of the problem was carried out and the need to solve a set of interrelated problems to find a correspondence between design parameters and experimental data was shown. The quality of the reconstructed dependencies was assessed according to the criterion of regularity and unbiasedness. Conclusions. The solution to this problem allows us to analyze the compliance of the design parameters and characteristics of unmanned systems with experimental data, which makes it possible to restore the design and functional connections of the designed unmanned system. This will make it possible to more efficiently use financial, production and time resources when designing unmanned systems.

Key words: unmanned systems, structural-parametric synthesis, uncertainty, statistical analysis.

Grishko Alexey Konstantinovich, candidate of technical sciences, docent, alexey-grishko@rambler.ru, Russia, Penza, Penza State University,

Tran Minh Hai, candidate degree candidate those. sciences, Russia, Penza, Penza State University,

Yurkov Nikolay Kondratievich, doctor of technical sciences, professor, head of the department, yurkov_nk@mail.ru, Russia, Penza, Penza State University

УДК 004.056.57

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-12-13

СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИНФИЦИРОВАНИЯ ФАЙЛОВ РЕ-ФОРМАТА ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ WINDOWS

Е.В. Егоров

В представленной статье осуществляется обширный анализ формата файла операционной системы (ОС) Windows, известного как Portable Executable (PE). Обсуждаются ключевые методы внедрения вредоносного программного обеспечения (ВПО) в структуру исполняемого файла, а также способы обнаружения таких вредоносных вмешательств. В рамках исследования проводится анализ информативных параметров PE-формата, пригодных для создания высокоэффективных моделей искусственного интеллекта (ИИ). Особое внимание уделяется их применимости в контексте обнаружения вредоносного кода (ВК) в файлах PE. Результаты анализа представляют собой ценный вклад в развитие методов качественного обучения ИИ, направленных на анализ и выявление вредоносных аспектов в программном обеспечении (ПО) ОС Windows.

Ключевые слова: PE-формат, вредоносное программное обеспечение, вредоносный код, искусственный интеллект, отбор признаков.

В настоящее время с постоянным ростом цифровых технологий происходит и параллельная эволюция угроз в сфере кибербезопасности. Внедрение вредоносного программного обеспечения и модификация исполняемых файлов ОС Windows PE формата являются темами, требующими серьезного внимания и интенсивного исследования.

Существующие средства обнаружения угроз, основанные на традиционных методах, в том числе и на сопоставлении сигнатур [1], сталкиваются с усилением сложности атак и их постоянным технологическим совершенствованием. В контексте данной проблемы, особенностями которой являются внедрение вредоносного программного обеспечения и трансформация файлов PE-формата, вопрос об эффективности традиционных методов становится актуальным.

Обнаружение измененных вредоносных файлов PE-формата с использованием стандартных механизмов статического анализа файлов становится задачей нетривиальной, из-за сложности скрытия вредоносного программного обеспечения различными способами и интеллектуального прироста методов маскировки. В свете этой сложности на передний план выходит потребность в реинжиниринге средств обнаружения с использованием передовых технологий, в частности, искусственного интеллекта. Исследование роли искусственного интеллекта в области кибербезопасности открывает новые перспективы для эффективного обнаружения модифицированных вредоносных файлов.

Определение наиболее уязвимых точек, подвергающихся потенциальной модификации со стороны нарушителей, предоставит более точные критерии для идентификации вредоносных файлов при обучении моделей искусственного интеллекта. Это позволит повысить уровень детализации и точности анализа, обеспечивая моделям искусственного интеллекта более глубокое восприятие угроз и повышая их способность выявлять даже самые запутанные и тонкие формы внедрения вредоносного программного обеспечения в различные файлы PE-формата.

В данной статье рассматривается статический анализ исполняемых файлов PE-формата с целью выявления техник и механизмов внедрения ВПО, выявления наиболее уязвимых параметров структуры PE-формата и его недостатков, чаще всего подвергающихся манипуляциям со стороны нарушителей [2]. Полученные результаты способствуют формированию наиболее точных характеристик, необходимых для качественного и успешного обучения моделей искусственного интеллекта.

PE-формат файла ОС Windows. Portable Executable (PE) – это формат исполняемых и объектных файлов, в том числе и библиотек, используемый в 32- и 64-битных операционных системах семейства Windows. PE-формат служит для организации и хранения исполняемого кода (программ) и связанных с ним данных.

PE-формат является стандартным форматом исполняемых файлов для операционных систем Windows начиная с Windows 95 и продолжая вплоть до современных версий. Формат обеспечивает гибкость и расширяемость, позволяя включать в себя различные компоненты программы и ресурсы, что делает его универсальным для разнообразных приложений, включая исполняемые файлы, библиотеки DLL и другие [3].

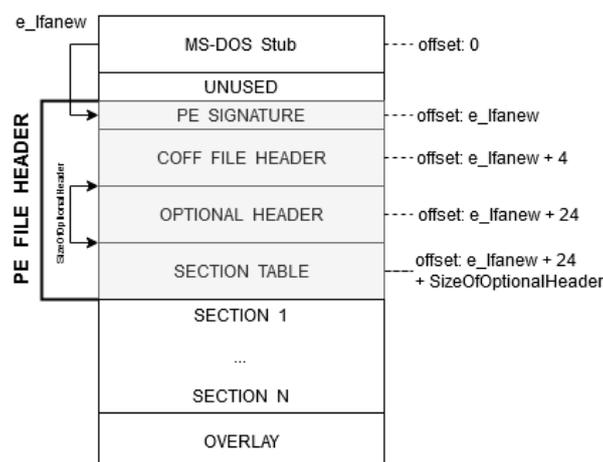
PE-формат, используемый в операционных системах Windows, разделяет исполняемые файлы на два основных типа: файлы с расширением EXE и DLL.

Файлы DLL (Dynamic Link Libraries) предназначены для предоставления функций или данных, которые могут быть использованы другими программами. Эти файлы, обозначаемые расширениями .dll, .sys, .ocx, .cpl, .fon, .drv, обычно спроектированы таким образом, чтобы могли быть выполнены в контексте других программ [4].

В свою очередь, EXE-файлы предназначены для запуска в собственных процессах. Они обычно имеют расширение .exe и, в отличие от DLL, не экспортируют символы, то есть не предоставляют функций или данных для использования в других программах.

Тем не менее, несмотря на такое условное разделение, PE-формат не накладывает жестких ограничений, и поэтому возможно создание гибридных файлов. Например, EXE-файл может экспортировать символы, предоставляя свои функции для использования в других программных средах. Такая гибкость формата позволяет разработчикам создавать многофункциональные файлы, сочетая характеристики как EXE, так и DLL в одном исполняемом файле.

Структура PE файла представлена на рисунке. Атрибуты этой структуры, а также статистика по последовательностям байт этой структуры используется для получения признаков.



Основные компоненты PE-формата включают в себя:

1. **Заголовок MS-DOS.** Это начальная часть файла, предназначенная для совместимости с MS-DOS. MS-DOS содержит в себе подпрограмму Stub, которая обеспечивает возможность запуска программы в среде MS-DOS, если это необходимо. Атрибут `e_lfanew` представляет собой смещение PE File Header относительно начала файла и служит указателем на PE Signature. Важно отметить, что не обязательно, чтобы значение `e_lfanew` указывало на область, непосредственно следующую за MS-DOS Stub. Благодаря гибкой структуре, это смещение может быть нацелено на любое место внутри файла, и не обязательно ограничивается областью непосредственно после MS-DOS Stub.

2. **Заголовок PE.** Данный заголовок содержит информацию о структуре PE-файла, включая адрес, с которого начинается исполняемый код, размеры различных секций, точку входа и другие ключевые параметры. Первый элемент PE File Header представляет собой сигнатуру PE-файла, которая обязательна для присутствия и должна иметь значение `PE0x0`. Она служит меткой, позволяющей определить, является ли данный файл формата PE. Если данная сигнатура отсутствует, это указывает на то, что перед нами не PE-файл.

Затем следует COFF File Header, также известный как файловый заголовок, представляющий собой структуру, содержащую общие характеристики данного PE-файла. Среди этих характеристик можно выделить: тип целевой машины, например, ARM, MIPS и др., количество секций, дата создания файла, указатель на таблицу символов, количество символов, размер опционального заголовка и характеристики файла (исполняемый или библиотека DLL). Этот файловый заголовок COFF предоставляет ключевую информацию о структуре PE-файла и его общих атрибутах.

Следующий важный элемент PE-заголовка представляет собой Опциональный заголовок (Optional Header). Эта структура содержит детализированную информацию о данном PE-файле. В ее состав входят различные параметры, такие как тип подсистемы, размер кода, объем инициализированных и неинициализированных данных (значения которых не проверяются и могут принимать любые значения), адрес точки входа (соответствует местоположению кода в первой секции, обычно .text), базовый адрес загрузки ImageBase (кратен 64кб.), выравнивание, SizeOfImage (кратен 64кб.), каталог данных (Data Directory), содержащий количество элементов, соответствующее параметру NumberOfRvaAndSizes, Checksum (не равно 0), и множество другой информации [5].

3. *Таблица секций.* Следом за Optional Header находится таблица секций. Количество секций может быть любым. Их наименование в целом не имеют особого значения и, по существу, не проверяются (почти везде). Загрузчик ориентируется на массив DataDirectory в опциональном заголовке для поиска необходимых данных.

Каждая отдельная секция в PE-файле характеризуется рядом параметров, включая адрес начала секции как в памяти, так и в самом файле, а также виртуальной (VirtualSize) и физической (SizeOfRawData) длинами секции. Важно отметить, что виртуальные адреса секций должны быть упорядочены последовательно, без перекрытий и промежутков, чтобы обеспечить корректную организацию памяти. Кроме того, каждая секция обладает полем Characteristics, предоставляющим информацию о том, как данная секция будет обрабатываться во время выполнения программы. Эти характеристики включают в себя права на чтение, запись, выполнение и другие особенности, которые определяют поведение секции в контексте работы программы.

В приложениях для Windows NT часто используются множество стандартных секций, таких как: .text (.CODE) для хранения кода программы, .bss для неинициализированных данных, .rdata для данных только для чтения, .data для глобальных переменных, .rsrc для ресурсов, .edata для экспорта, .idata для импорта, .debug для отладочной информации и так далее. Эти секции создают линкеры, следуя спецификации Microsoft.

Таблица экспорта. Механизм экспорта в PE-файлах обеспечивает возможность доступа к переменным или функциям из другого исполняемого модуля. В большинстве случаев EXE-файлы ограничивают внешний доступ к своим ресурсам, в то время как DLL-файлы, как правило, предоставляют экспорт функций. Для хранения информации об экспорте часто выделяется отдельная секция – .edata, в которой содержится таблица секций. Однако обычно поиск этой таблицы секций осуществляется через каталог данных, индекс которого равен 0 в массиве DataDirectory.

Таблица экспорта содержит массив, в котором хранятся адреса функций. Каждая функция в этой таблице может быть вызвана по ее ординалу, который представляет собой своего рода индекс в данном массиве. Если функция экспортируется по ординалу, загрузчик обращается к таблице адресов функций, минимизируя лишние операции. Тем не менее, в большинстве случаев функции экспортируются по именам, что приводит к необходимости дополнительного этапа поиска и связывания во время выполнения программы [6].

Таблица импорта. Механизм импорта в PE-файлах предоставляет возможность использовать функции или переменные из модулей, отличных от того, в котором выполняется программа. Например, если в нашей программе есть вызов функции GetMessage, расположенной в библиотеке KERNEL32.DLL, то вместо непосредственной инструкции CALL используется инструкция JMP DWORD PTR [XXXXXXXX]. Адрес, указанный как XXXXXXXX, фактически соответствует записи в таблице импорта, представляющей собой место, где хранится адрес функции GetMessage из библиотеки KERNEL32.DLL [6].

Это эффективное решение, позволяющее сосредотачивать адреса функций в одном центральном месте. При загрузке DLL по определенному адресу, загрузчику необходимо внести изменения только в адресе функции в таблице импорта, вместо того чтобы изменять этот адрес в каждом месте, где происходит вызов данной функции. Такой подход значительно облегчает поддержку и обновление программы, поскольку изменения в адресе функции нужно внести лишь в одном месте – в таблице импорта.

В PE-файлах существует четыре различных способа осуществления импорта: стандартный механизм импорта, биндинг, bound-импорт и delay-импорт. Каждый из этих методов предоставляет уникальные возможности и уровни гибкости в управлении внешними ресурсами. Это дает разработчикам возможность выбрать оптимальный подход в соответствии с требованиями конкретного приложения.

Основным и наиболее часто используемым методом импорта является стандартный механизм. В секции импорта содержится информация о функциях и переменных, используемых программой, а также о модулях, из которых они импортируются. При использовании стандартного механизма импорта программа получает доступ к импортируемым функциям и переменным непосредственно после своего запуска [7].

Bound-импорт представляет собой совокупность стандартного механизма импорта и биндинга. В этом подходе происходит предварительная привязка адресов функций и переменных в процессе компиляции. Программа, использующая bound-импорт, может обращаться к связанным адресам непосредственно с момента своего запуска [7].

Биндинг – это процесс динамического связывания, при котором адреса функций и переменных устанавливаются в процессе выполнения программы, а не на стадии компиляции. Такой метод позволяет программе получать доступ к функциям и переменным в более гибкой форме, добавляя дополнительный уровень динамизма [8].

Delay-импорт представляет собой отсроченное связывание импорта до тех пор, пока он не станет необходимым в ходе выполнения программы. Это позволяет ускорить запуск программы и снизить общую нагрузку на ресурсы. Программа с Delay-импортом начинает связывать адреса функций и переменных только в момент первого вызова, что способствует оптимизации производительности [8].

4. *Overlay (оверлей).* Участок исполняемого файла, который не подвергается загрузке в память системным загрузчиком, называется оверлеем. Данные из оверлея могут быть загружены в память программой в процессе её выполнения, обеспечивая дополнительный функционал. Оверлеи иногда применяются с целью снижения общего объема памяти, используемого программой. В контексте данной работы оверлеи могут использоваться для размещения вредоносного программного обеспечения в случае, если виртуальное пространство программы не обладает достаточным свободным местом. В этом случае ВПО сохраняется на диске и динамически загружается небольшим загрузчиком во время выполнения программы.

Более подробную информацию о спецификации PE формата можно посмотреть на сайте Microsoft [3] или в заголовке winnt.h пакета Windows SDK.

Методы инфицирования файлов PE-формата. Для более детального и точного выявления уязвимых характеристик PE-формата представим сценарий, в котором у нас имеется незараженный файл, и мы проводим анализ возможности его инфицирования.

Метод 1. Внедрение в PE-заголовок. Общий размер всех заголовков в стандартной MS-DOS загрузке составляет в среднем 300h байт, тогда как физический адрес первой секции начинается с 400h байт. Можно сделать вывод, что около 100h байт пустого пространства, согласно рекомендациям Microsoft, потенциально ничем не заполнены, что не является оптимальным.

При заражении файла нарушитель проверяет условие `SizeOfHeaders < PointerToRawData` (Физический адрес первой секции) и в случае обнаружения непрерывной последовательности нулей внедряет ВПО. Затем корректирует значение `SizeOfHeaders`, установив его на начало первой секции, иначе вредоносный код просто не загрузится в память системным загрузчиком, заполнив остальное место нулями. Однако, современные линкеры могут использовать данную область, помещая туда таблицу имен, содержащую перечень загружаемых DLL. Несмотря на это, отсутствие пустого пространства в PE-Header и установка значения `SizeOfHeaders` равное физическому началу первой секции, может являться признаком заражения файла.

Метод 2. Встраивание в упорядоченную последовательность байт

Цепочки нулей или другие регулярные последовательности (FF FF FF) необязательно должны быть в конце секции. Эти последовательности могут быть любыми, при условии, что их можно восстановить в исходный вид перед передачей управления. Если в файле присутствует более одной внедряемой цепочки, ВПО может распределиться по телу файла. Регулярные последовательности такого рода часто обнаруживаются в ресурсах, таких как изображения, например, `bitmap` и иконках.

Для выявления внедрения ВПО в регулярную последовательность применяется процесс дизассемблирования, который представляет собой преобразование машинного кода обратно в инструкции ассемблера. Этот процесс включает в себя обнаружение длинных последовательностей команд `jmp` или `call`, протянувшихся через одну или несколько секций файла. Часто такие команды располагаются в местах, которые не характерны для обычного исполняемого кода, например, в секциях данных. Таким образом, при анализе дизассемблированного кода важно выявить аномальные последовательности переходов (`jmp`) или вызовов (`call`), которые выходят за рамки ожидаемых структур исполняемого кода.

Метод 3. Вложение в конец секции. Нарушитель исследует секции с подходящими характеристиками и достаточно свободным пространством в конце. Для этого анализируется заголовок каждой секции, вычисляя разницу между размерами `SizeOfRawData` (физический размер секции) и `VirtualSize` (виртуальный размер секции). Важным также является проверка наличия последовательности нулей в конце секции. Эти шаги позволяют определить доступное пространство для внедрения вредоносного программного обеспечения (ВПО). Стоит отметить, что не всегда физический размер больше виртуального и наоборот. Размеры корректируются с использованием специальных параметров, таких как `FileAlignment` и `SectionAlignment`.

Когда исполняемый файл загружается в память, операционная система выделяет блоки памяти для каждой секции. Параметр `FileAlignment` определяет минимальный размер (в байтах), кратный которому должны быть расположены различные структуры данных в исполняемом файле на диске. Это улучшает производительность при загрузке данных в память, так как часто используемые структуры данных могут быть выровнены по оптимальной границе, которая обеспечивает быстрый доступ к памяти.

`SectionAlignment` определяет границу выравнивания секций в виртуальной памяти, когда файл загружается в память. Обеспечивает выравнивание секций для оптимальной производительности выполнения программы. Он применяется к данным в виртуальной памяти и обеспечивает оптимальное размещение секций в памяти после их загрузки.

Значения `FileAlignment` и `SectionAlignment` могут различаться в разных операционных системах и компиляторах, но обычно это степени двойки, такие как 512 байт, 1024 байта, 4096 байт и т.д. В операционных системах семейства Windows, например, типичные значения могут быть 512 байт для `FileAlignment` и 4096 байт (4KB) для `SectionAlignment`.

Для корректной загрузки программы необходимо:

`SectionAlignment` должно быть больше или равно 1000h байт;

`FileAlignment` должно быть больше или равно 200h байт;

`SectionAlignment` должно быть больше или равно `FileAlignment`.

Если хотя бы одно из указанных условий не соблюдается, файл не будет загружен. В ситуациях, где виртуальный размер секции (`VirtualSize`) меньше физического размера секции (`SizeOfRawData`), загрузчик может игнорировать физический размер при загрузке в память. Это означает, что физический размер может принимать любое значение. Тем не менее, если `SizeOfRawData` превышает `VirtualSize` на величину, большую или равную `FileAlignment`, то, вероятно, в файле содержится серединный оверлей. Кроме того, если виртуальный размер секции равен нулю, то загрузчик может использовать физический размер вместо него. В этом случае физический размер будет округлен вверх до ближайшей границы, определенной параметром `SectionAlignment` [9].

Не все секции в исполняемых файлах предоставляют удобные возможности для внедрения ВПО, например, в такие как секция перемещаемых элементов или секция импорта может быть бесполезным, так как упаковщик может самостоятельно их реконструировать. Наиболее уязвимыми для таких манипуляций считаются секции, у которых определенные атрибуты создают подходящие условия для внедрения, например:

`IMAGE_SCN_MEM_SHARED` и `IMAGE_SCN_MEM_DISCARDABLE` сброшены (то есть секция не разделяется между процессами и не может быть удалена из памяти);

`IMAGE_SCN_MEM_READ` или `IMAGE_SCN_MEM_EXECUTE` установлены (то есть секция доступна для чтения или выполнения);

`IMAGE_SCN_CNT_CODE` или `IMAGE_SCN_CNT_INITIALIZED_DATA` установлены (то есть секция содержит исполняемый код или инициализированные данные).

Эти атрибуты делают секцию подходящей для размещения вредоносного кода, так как она может быть выполнена, прочитана, и оставаться в памяти, даже если другие части файла были удалены.

Метод 4. Внедрение путем сжатия части файла. Внедрение в регулярные последовательности представляет собой одну из форм техники внедрения в файл, при которой определенные части файла сжимаются, используя различные алгоритмы сжатия, например, RLE (Run-Length Encoding), Хаффмана, Лемпеля-Зива и др. Идея заключается в сжатии подходящей секции файла, а затем использовании освободившегося места для записи внедренного кода.

Применение более сложных алгоритмов сжатия может упростить процесс выбора участков для внедрения. Однако, стоит отметить, что некоторые файлы, которые уже сжаты, или секции с атрибутом

IMAGE_SCN_MEM_WRITE, защищающим их от записи, могут быть исключением из этой стратегии. В таких случаях нарушитель подбирает более подходящие секции для внедрения, как описано во втором методе.

Распознавание подобного способа возможно путем дизассемблирования (его применение указано во 2 методе) или вычисления энтропии секций.

Энтропия рассчитывается следующим образом (энтропия Шеннона) [10]:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i,$$

где n – количество возможных значений случайной величины; p_i – вероятность появления i -го значения; \log – логарифм с основанием равным 256, что соответствует количеству возможных значений в байте.

Таким образом, энтропия H принимает значения в пределах от 0 до 1. Высокое значение энтропии в секции может свидетельствовать о наличии сжатия данных в секции, использовании упаковщиков или шифровальных методов для скрытия ВПО.

Метод 5. Увеличение размера заголовка. Максимальный размер заголовка ограничен виртуальным адресом первой секции, поскольку заголовок не может перекрываться с данными страничного изображения. Учитывая, что минимальный виртуальный адрес составляет 1000h, а стандартный размер заголовка – 300h, нарушитель может располагать около 700h свободного пространства для использования в своих целях, включая внедрение ВПО, а в случае нехватки места, оставшаяся часть заголовка загружается в оверлей.

Системный загрузчик ответственен за загрузку только первых байт заголовка, соответствующих размеру SizeOfHeaders, и оставляет остальные (если они есть) в оверлее. Нарушитель изменяет SizeOfHeaders, смещает PointerToRawData всех секций на произвольное значение, даже на гигабайт, и внедряет ВПО в заголовок. Однако в заголовке могут содержаться структуры, зависящие от физического расположения, такие как таблица отладочной информации, и после изменения заголовка они могут быть перемещены. В таком случае злоумышленнику необходимо корректировать все структуры, связанные с физическими смещениями внутри файла, перечисленные в DATA DIRECTORY. Также важно убедиться в отсутствии оверлеев, поскольку их адресация происходит относительно начала файла. Нехарактерные значения SizeOfHeaders, смещения PointerToRawData и отсутствие регулярных последовательностей могут быть признаками наличия вредоносного программного обеспечения в файле [9].

Метод 6. Перемещение части секции в оверлей. Вместо того чтобы использовать полное или частичное сжатие секции, нарушитель может просто переместить ее содержимое в оверлей, который может быть размещен в конце, середине или начале файла. Самый простой способ – это дописать содержимое секции в конец файла. При этом не требуется вносить корректировки в какие-либо поля PE-заголовка. Процесс заключается в том, что нарушитель выбирает наиболее уязвимую для манипуляции секцию, копирует размер ВПО в байтах любой части этой секции в конец файла, а на освободившееся место встраивает вредоносный код.

Устроить оверлей в середине файла, например, поместив его между секциями кода и данными, является более сложной задачей, но при этом нарушитель может достичь наиболее высокого уровня скрытности. Для этого потребуется увеличить смещение PointerToRawData всех последующих секций на значение, выровненное вверх до ближайшей границы FileAlignment, физически сдвинуть все последующие секции внутри файла и перенести выбранную часть секции в оверлей.

Обнаружение оверлея в середине файла легко осуществляется через анализ расхождения между физическими и виртуальными адресами, что практически не характерно для большинства обычных файлов. Однако наличие оверлея в конце файла считается нормальным. Идентификация такого метода включает в себя прямой анализ дизассемблированного кода и обнаружение в нем кросс-ссылки, ведущих в середину функций [9].

Метод 7. Создание собственного оверлея. Также нарушитель может перемещать в оверлей не только исходную часть секции, но и внедрять своё собственное вредоносное программное обеспечение. Тем не менее, для активации этого ВПО по-прежнему требуется, как минимум, небольшой загрузчик, который встраивается в свободное место в файле. Данный метод прост и надежен в реализации. Внедрение и обнаружение ВПО идентично в 6 методе, за исключением сброса в оверлей не оригинальной секции, а самого вредоносного кода [9].

Метод 8. Создание собственной секции. Добавление новой секции в конец файла представляет собой простой и удобный метод внедрения вредоносного кода. При использовании этого метода вредоносное программное обеспечение не зависит от наличия свободного места в файле, и размер внедряемого кода не ограничен. Злоумышленник записывает вредоносный код в конец файла, увеличивает значение NumberOfSections на единицу и выравнивает физический размер новой секции с учетом параметра FileAlignment. Затем происходит пересчет SizeOfImage, и в таблицу секций в заголовке добавляется новый элемент с указанными физическими и виртуальными адресами, размерами, а также атрибутами, установленными в поля Characteristics – IMAGE_SCN_MEM_READ и IMAGE_SCN_CNT_CODE [9].

Данный метод легко распознается при обнаружении кодовой секции в конце файла, в то время как в стандартном файле кодовая секция всегда идет первой.

Метод 9. Расширение последней секции файла. Этот метод является наиболее очевидным и широко распространенным способом внедрения вредоносного кода в целом среди нарушителей информационного пространства. Однако он крайне конфликтен, слишком заметен и на практике может быть успешно применен только к некоторым PE-файлам, которые соответствуют всем необходимым требованиям.

Перед тем как внедрять вредоносное программное обеспечение, нарушителю необходимо провести ряд проверок. Физический размер последней секции, выровненной в соответствии с параметром FileAlignment, должен достигать физического конца файла. В противном случае существует риск столкнуться с оверлеем или даже более неприятной ситуацией – наличием мусора, оставшегося после сборки файла. В таком случае нарушителю придется внедрять вредоносный код не в конец секции, а в конец файла. Также часто избегают внедрения между концом последней секции и оверлеем, поскольку оверлей адресуются относительно начала файла. Некоторые секции активны только во время загрузки файла и затем удаляются из памяти. Поэтому перед заражением удостоверяются в отсутствии или самостоятельно отключают следующие атрибуты: IMAGE_SCN_MEM_SHARED,

IMAGE_SCN_MEM_DISCARDABLE, IMAGE_SCN_CNT_UNINITIALIZED_DATA, а также установить атрибут IMAGE_SCN_MEM_READ. После внедрения ВПО нарушитель производит перерасчет SizeOfImage, физические размер и адрес начала последней секции [9].

Этот метод заражения можно выявить, обращая внимание на характерные атрибуты и присутствие кода в последней секции файла, что является необычным для стандартных незараженных файлов.

Заключение. В данной статье представлен анализ основных методов инфицирования файлов вредоносным программным кодом и их признаков, а также способы выявления подобных инфекций. Однако, помимо рассмотренных методов, существуют и другие, которые в данной статье не были подробно проанализированы. На основе представленных в статье данных можно сделать вывод, что статического анализа формата PE недостаточно для полного распознавания всех используемых методов инфицирования. Однако, при наличии заражения, файл подвергается изменениям в структуре данных и параметрах, что позволяет выявить его как потенциально вредоносный.

Для эффективного обучения моделей искусственного интеллекта, способных в будущем выявлять факт заражения файла, необходимо грамотно подходить к отбору признаков. Использование всех параметров структуры PE-формата в качестве основы для создания обучающей выборки может оказаться неэффективным. В статье представлены основные параметры, подвергающиеся изменениям со стороны нарушителя, признаки, которые могут служить ключевыми индикаторами наличия или отсутствия вредоносного кода. Эти показатели могут варьироваться в зависимости от методов анализа и используемых алгоритмов, но их основная цель заключается в том, чтобы выделить наиболее значимые аспекты файла, способствующие в определении возможного заражения.

Список литературы

1. Jinrong Bai, Junfeng Wang, Guozhong Zou. A Malware Detection Scheme Based on Mining Format Information // The Scientific World Journal. 2014. Vol. 2014.
2. Hahn K. Robust Static Analysis of Portable Executable Malware // HTWK Leipzig. 2014.
3. Microsoft Corporation. PE Format specification [Электронный ресурс] URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/debug/pe-format?redirectedfrom=MSDN> (дата обращения: 12.12.2023).
4. Microsoft Corporation. What is a DLL? 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://support.microsoft.com/kb/815065/EN-US> (дата обращения: 12.12.2023).
5. Касперски К. Путь война – внедрение в pe/coff-файлы. 2004 [Электронный ресурс] URL: <http://samag.ru/archive/article/297> (дата обращения: 12.12.2023).
6. От зеленого к красному: Глава 2: Формат исполняемого файла ОС Windows. PE32 и PE64. Способы заражения исполняемых файлов [Электронный ресурс] URL: <https://wasm.in/blogs/ot-zelenogo-k-krasnomu-glava-2-format-ispolnjaemogo-fajla-os-windows-pe32-i-pe64-sposoby-zarazhenija-ispolnjaemyx-fajlov.390> (дата обращения: 12.12.2023).
7. PE-формат. Часть 3 – Импорт [Электронный ресурс] URL: <https://kaimi.io/2011/09/pe-format-import> (дата обращения: 12.12.2023).
8. Структура исполняемых файлов Win32 и Win64 – Ю.С. Лукач [Электронный ресурс] URL: <http://cs.usu.edu.ru/docs/pe> (дата обращения: 12.12.2023).
9. Касперски К. Техника внедрения кода в PE-файлы и методы его удаления // Системный администратор. 2004. №7(20). С. 62-84.
10. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. P. 379-423.

Егоров Елизар Валерьевич, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

STATIC ANALYSIS OF INFECTION METHODS PE-FORMAT FILES FOR WINDOWS OPERATING SYSTEMS

E.V. Egorov

The presented article provides a comprehensive analysis of the Windows operating system (OS) file format, known as Portable Executable (PE). The key methods of introducing malicious software into the structure of an executable file are discussed, as well as ways to detect such malicious interventions. The study analyzes the informative parameters of the PE format suitable for creating highly efficient artificial intelligence (AI) models. Special attention is paid to their applicability in the context of detecting malicious code in PE files. The results of the analysis represent a valuable contribution to the development of high-quality learning methods and aimed at analyzing and identifying malicious aspects in Windows OS software.

Key words: PE format, malicious software, malicious code, artificial intelligence, feature selection.

Egorov Elizar Valerievich, junior researcher employee in research laboratory, Russia, Saint-Petersburg, Military Space Academy

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

М.А. Синелюбов

Статья посвящена проблеме коррозии в строительной индустрии, которая является одной из основных причин разрушения материалов, увеличения затрат на обслуживание зданий и сооружений, а также нанесения ущерба экономике стран. Описаны основные причины возникновения коррозии, включая химическую реакцию между материалами и окружающей средой, такие как влага, кислород, бактерии, грибки, кислые грунты, электрический ток, соли и другие агрессивные вещества, а также условия. Рассмотрены последствия коррозии, такие как потеря прочности, появление трещин, ухудшение эстетики и снижение проходной способности трубопроводов. В статье приводятся данные о доле коррозионного износа в стальных вертикальных резервуарах и основные виды коррозии металлических изделий. Представлены различные методы предотвращения коррозии, включая физическую защиту, контроль окружающей среды, катодную защиту, использование коррозионностойких материалов, ингибиторы коррозии, регулярную инспекцию и обслуживание оборудования. В работе указано, что понимание и предотвращение коррозии являются важными факторами для обеспечения долговечности и безопасности строительных конструкций, а также снижения затрат на их обслуживание и ремонт. Важность проблемы коррозии в строительстве подчеркивается, и предлагаются рекомендации для эффективной борьбы с этим процессом.

Ключевые слова: коррозия металлических конструкций, дефекты металлических изделий, металлическая конструкция, коррозионная стойкость, строительство.

Коррозия является одной из основных проблем в строительной индустрии, поскольку она приводит к разрушению материалов, что в свою очередь увеличивает затраты на ремонт и обслуживание зданий и сооружений. Также процесс коррозии наносит большой вред экономике всех стран, так по оценкам «Национальной ассоциации инженеров-коррозионистов» ущерб от коррозии и затраты на борьбу с ней составляют от 2 до 4% ВВП многих стран [1]. Этот процесс возникает из-за химической реакции между материалами и окружающей средой, такой как влага, кислород, бактерии, грибки, кислые грунты, электрический ток, соли и другие агрессивные вещества, и условия. В данной статье будут рассмотрены основные причины коррозии строительных материалов, ее последствия и методы предотвращения.

Коррозия строительных материалов может привести к серьезным последствиям, таким как потеря прочности и структурной целостности, появлению трещин и провалов, ухудшению эстетики, снижению проходной способности трубопроводов и т.д. В результате этого здания и сооружения могут стать опасными для пользования и требовать дорогостоящего ремонта или замены компонентов.

Такая проблема как коррозия является существенной и для многих объектов остается одной из основных причин поломок и повреждений. Так в стальных резервуарах, применяемых для транспортировки и хранения различных веществ, коррозионный износ наблюдается в 30% всех дефектов (рис. 1) [2].

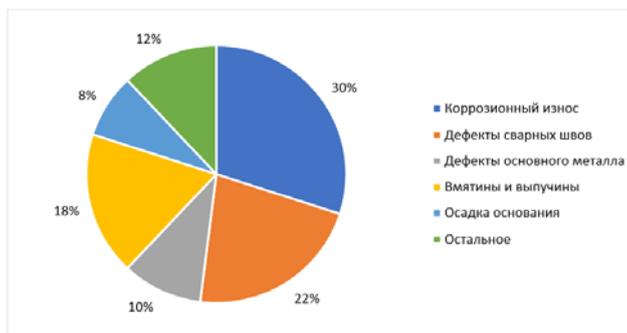


Рис. 1. Основные причины дефектов стальных вертикальных резервуаров

Таким образом 30% дефектов стальных вертикальных резервуаров приходится на коррозионный износ. Помимо этого, коррозия имеет сильное влияние на эксплуатацию зданий и сооружений, которые были возведены при помощи технологии металлических конструкций, которые также подвержены этому процессу. На рисунке 2 приведены основные виды коррозии металлических изделий [3-4].

Для защиты от коррозии существует множество методов, которые можно применять отдельно или в комбинации для максимального эффекта. Ниже приведены и проанализированы основные методы [5-9].

1. Физическая защита от коррозии обычно сводится к обеспечению физического барьера между металлом и внешней средой. В качестве этого барьера могут выступать различные покрытия, включая лаки, краски, пластик, фольга и другие материалы, препятствующие прямому воздействию агрессивных сред на металл.

2. Контроль окружающей среды. Уменьшение влажности, удаление агрессивных химических веществ и поддержание оптимальных условий окружающей среды также способствуют уменьшению коррозионного процесса.

3. Катодная защита – вид электрохимической защиты, при котором на защищаемую деталь накладывается отрицательный потенциал. Однако, как правило, такой метод защиты совмещают с нанесением защитных и изолирующих покрытий.

4. Одним из эффективных методов является применение высоких стандартов проектирования и материалов, устойчивых к коррозии. Например, использование нержавеющей стали и других коррозионностойких сплавов может существенно снизить вероятность коррозии.

5. Использование ингибиторов коррозии. Ингибиторы коррозии - это различные вещества, которые добавляются в определенной концентрации в агрессивную среду для замедления или предотвращения процесса коррозии.

6. Регулярная инспекция и обслуживание. Необходимо проводить регулярную проверку состояния металлических конструкций и оборудования для выявления начальных признаков коррозии и своевременного вмешательства.

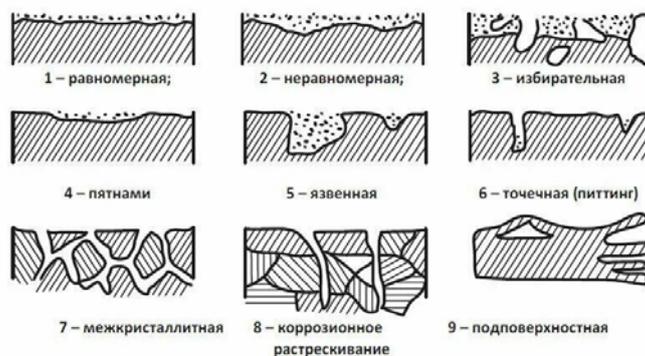


Рис. 2. Основные виды коррозии

При выборе строительных материалов и методов строительства необходимо принимать во внимание возможные коррозионные риски и рассматривать способы как минимизировать их воздействие на материалы и конструкции. В конечном итоге, это поможет обеспечить длительный срок службы строительных конструкций и улучшить их безопасность и надежность. Важность антикоррозийной защиты трудно переоценить, поскольку продолжительное воздействие коррозионных процессов может привести к серьезному ущербу и потенциально опасным ситуациям. Хотя существует множество методов и технологий защиты от коррозии, выбор конкретного подхода должен основываться на специфике задачи, а также факторах, таких как стоимость, работоспособность и эффективность защиты.

Список литературы

- 16th international corrosion congress - China Beijing // Chinese Society for Corrosion and Protection URL: <https://web.archive.org/web/20100224030629> (дата обращения: 12.12.2023).
- Сафина И., Каузова П., Гушин Д. Оценка технического состояния резервуаров вертикальных стальных // ТехНадзор. 2016. № 3(112). С. 40-41.
- Балалаев Г. А., Медведев В. М., Мощанский Н. А. Защита строительных конструкций от коррозии: Учебное пособие для инженерно-строительных вузов и факультетов. М.: Стройиздат, 1966. 224 с.
- Семенова И. В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, А.В. Хорошилов, Г.М. Флорианович; под. ред. И.В. Семеновой. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Физматлит, 2006. 376 с.
- Сурков Ю.П. и др. Диагностика промышленных разрушений. Анализ причин разрушения и механизмов повреждаемости магистральных газопроводов из стали 17ГС // Физико-химическая механика материалов. 1989. № 5. С. 95-97.
- Хайдерсбах Р. Защита от коррозии и металловедение оборудования для добычи нефти и газа / Р. Хайдерсбах. Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. 416 с.
- Берушкис Г.К., Кларк Г.М. Коррозионная устойчивость металлов и металлических покрытий в атмосферных условиях. М.: Наука, 1971. С. 17.
- Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. Изд. 2-е пер. и доп. М, «Химия», 1975. 816 с.
- Малахов А.И., Жуков А.П. Основы металловедения и теории коррозии: Учебник для машиностроительных техникумов. М.: Высшая школа, 1978. 192 с.

Синелубов Максим Алексеевич, студент, rrr234ttt45@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

ANALYSIS OF CORROSION PROCESSES OF METAL STRUCTURES

M.A. Sinelubov

The article is devoted to the problem of corrosion in the construction industry, which is one of the main reasons for the destruction of materials, increasing the costs of maintaining buildings and structures, as well as causing damage to the economies of countries. The main causes of corrosion are described, including the chemical reaction between materials and the environment, such as moisture, oxygen, bacteria, fungi, acidic soils, electric current, salts and other corrosive substances, and conditions. The consequences of corrosion, such as loss of strength, the appearance of cracks, deterioration of aesthetics and a decrease in the flow capacity of pipelines, are considered. The article provides data on the proportion of corrosive wear in steel vertical tanks and the main types of corrosion of metal products. Various methods of corrosion prevention are presented, including physical protection, environmental control, cathodic protection, use of corrosion-resistant materials, corrosion inhibitors, and regular inspection and maintenance of equipment. The work indicates that understanding and preventing corrosion are important factors for ensuring the durability and safety of building structures, as well as

reducing the costs of their maintenance and repair. The importance of the problem of corrosion in construction is emphasized, and recommendations are offered for effectively combating this process.

Key words: corrosion of metal structures, defects of metal products, metal structure, corrosion resistance, construction.

Sinelubov Maxim Alekseevich, student, rrr234ttt45@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 004.021

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-20-21

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В ФОРМИРОВАНИИ РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ РФ

Ю.А. Леонов, Р.А. Филиппов, И.И. Живодовский

В данной статье рассмотрена проблема повышения эффективности работы образовательных организаций высшего образования Российской Федерации за счет построения качественной системы рейтинга с использованием машинного обучения. Проведен анализ существующих методологий формирования рейтинговых систем. Исследованы факторы, влияющие на рейтинг образовательных организаций. Рассмотрены алгоритмы и методы агрегирования результата анализа деятельности высших учебных заведений. Проведен анализ полученного рейтинга и результатов работы аналитических моделей.

Ключевые слова: образование, анализ учебных заведений, рейтинг учебных заведений, обработка естественного языка, анализ данных, интеллектуальный анализ данных, оценка тональности текста, регрессия.

Повышение эффективности образовательной деятельности высших учебных заведений является одним из главных направлений государственной политики в сфере образования. Одним из вариантов повышения эффективности становится правильное распределение финансовых средств среди образовательных организаций. Исходя из этого возникает необходимость формирования методических материалов для анализа деятельности учебных заведений, а также автоматизации аналитического процесса в связи с наличием большого объема данных.

Современным подходом к определению эффективности деятельности каких-либо организаций является формирование рейтинговых систем. Главная задача подобного типа систем — это ранжирование организаций по определенному списку факторов, влияющих на их результативность. Основными плюсами данного метода является повышение конкурентности среди образовательных организаций и как результат — стремление улучшить свои показатели. Зачастую, использование рейтинговых систем приводит к формированию псевдоцелей организаций — направленность на повышение только тех показателей, влияющих на итоговый результат. Для минимизации данной проблемы в разрабатываемую систему необходимо включить фактор, не зависящий напрямую от образовательной организации — оценку отзывов об учебных заведениях, содержащихся в открытых источниках в сети Интернет.

Подобный инструментарий может быть полезен и абитуриентам, перед которыми встает вопрос о выборе образовательной организации. Одной из основных проблем в выборе высшего учебного заведения является необходимость анализа большого объема сегментированных данных. Разработка информационно-аналитической системы для анализа результативности деятельности образовательных организаций с использованием системы рейтинга вузов может стать решением данной проблемы.

Целью исследования является разработка автоматизированной системы рейтинга образовательных организаций с использованием методов обработки текста на естественном языке.

Теория. В ходе анализа существующих подходов к формированию рейтинга образовательных организаций высшего образования был определен список наиболее престижных мировых и отечественных рейтинговых систем:

Мировой рейтинг университетов от компании Times Higher Education.

Мировой рейтинг университетов от компании EduRank.

Московский международный рейтинг вузов "Три миссии университета" от компании MosIUR.

Рейтинг лучших вузов России RAEX-100, составленный рейтинговым агентством RAEX («РАЭК-Аналитика»).

Компания *Times Higher Education* составила мировой рейтинг [1], в которых входит 1799 образовательных организаций из 104 стран. Данная рейтинговая система является одной из престижнейших в мире на сегодняшний момент. Рейтинг основан на 5 группах, включающих в себя 18 показателей с определенной для каждого степенью влияния на итоговый результат:

1. Преподавательская деятельность. Влияние: 29.5%.
2. Исследовательская деятельность. Влияние: 29%.
3. Качество исследований. Влияние: 30%.
4. Международная деятельность. Влияние: 7.5%.
5. Промышленность. Влияние: 4%.

Методология рассмотренного рейтингового агентства охватывает широкий спектр важных показателей деятельности мировых образовательных организаций, но слабо применима к формированию рейтинга высших учебных заведений России. Причиной служит отсутствие информации по некоторым исследуемым показателям у большинства образовательных организаций России. Также, одним из минусов является отсутствие влияния общественного мнения на итоговый рейтинг.

Независимое рейтинговое агентство *EduRank* [2] содержит рейтинг 14131 высших учебных заведений из 183 стран мира. Используемая рассматриваемым агентством методология не подразумевает анализ данных, предоставляемых образовательными организациями, а предполагает использование собранной самостоятельно информации. Итоговый рейтинговый балл формируется на основе 3 показателей, имеющих свою степень влияния на результат:

1. Эффективность исследований. Показатель основан на важности публикуемых образовательной организацией научных исследований. Важность исследования зависит от его цитируемости. Влияние: 45%.

2. Неакадемическая известность. Показатель отражает репутацию учебного заведения за счет цитирования его на других сайтах в сети Интернет. Влияние: 45%.

3. Оценка выпускников. Показатель отражает общее количество просмотров страниц, которые имеют выпускники университета и другие аффилированные лица на всех 43 языковых версиях Википедии. Влияние: 10%.

Методология рассмотренного рейтингового агентства использует важные показатели, но не отражающие в полной мере результаты деятельности образовательных организаций.

Московский международный рейтинг вузов "Три миссии университета" [3] включает рейтинг 2000 университетов из 112 стран мира. Используемая в данном рейтинге методология исключает использование различных репутационных опросов, а в качестве анализируемых данных рассматриваются открытые данные с официальных сайтов образовательных организаций, национальных органов власти, а также данные независимых международных источников. Рейтинг основывается на 16 показателях, имеющих свою степень влияния на результат.

Показатели данной методологии являются важными для формирования рейтинговой системы, но слабо подходят для реализации автоматизированной системы, так как содержат большое количество фрагментированных данных, что затрудняет получение доступа к ним. Положительным аспектом методологии является исключение использования репутационных опросов, способных содержать предвзятое и необъективное мнение.

Рейтинговое агентство *RAEX («РАЭК-Аналитика»)* [4] формирует ежегодные рейтинги 100 лучших высших учебных заведений России. Методика рассматриваемой системы основана на анализе 3 факторов, описывающих множество групп показателей, объединяющих отдельные показатели деятельности образовательных организаций высшего образования:

1. Условия для получения качественного образования.
 - a. Уровень преподавания (вес = 0,125).
 - b. Международная интеграция (вес = 0,125).
 - c. Ресурсная обеспеченность (вес = 0,125).
 - d. Востребованность среди абитуриентов (вес = 0,125).
2. Уровень востребованности выпускников работодателями.
 - a. Качество карьеры выпускников (вес = 0,15).
 - b. Сотрудничество с работодателями (вес = 0,15).
3. Уровень научно-исследовательской деятельности.
 - a. Научно-исследовательский потенциал (вес = 0,06).
 - b. Научные достижения (вес = 0,1).
 - c. Исследовательская инфраструктура (вес = 0,04).

Показатели, используемые в методологии рейтингового агентства «РАЭК-Аналитика», содержат большой объем закрытых данных, полученных из репутационных опросов академических кругов, работодателей, студентов, выпускников и научного сообщества. Данный факт затрудняет процесс сбора информации и повышает вероятность предвзятости и необъективности данных. Стоит отметить качественную структурированность используемых групп показателей.

Из рассмотренных методологий можно выделить следующие ключевые аспекты для разработки объективной системы рейтинга образовательных организаций РФ:

1. Использование открытых данных из официальных и независимых источников.
2. Использование данных, содержащихся по большому числу учебных заведений России.
3. Использование независимого мнения граждан (абитуриентов, студентов, выпускников, преподавателей) в качестве фактора, влияющего на рейтинг образовательной организации.
4. Формирование качественной структуры показателей, в полной мере характеризующей все виды деятельности, влияющие на результативность образовательных организаций.
5. Необходимость реализации механизма автоматического сбора данных.

Данные и методы. Использование отзывов об образовательных организациях в качестве фактора, влияющего на его рейтинг, подразумевает оценку тональности текста, написанного на естественном языке.

Для построения качественной модели необходимо произвести сбор обучающих данных, размеченных по классам тональности (позитивные, негативные, нейтральные). Точность разрабатываемой модели во много зависит от предметной области текстов, на которых она была обучена. Поэтому был произведен сбор отзывов об образовательных организациях из интернет-ресурса [5], которые предварительно были распределены по классам тональности. Обучающее множество содержит 10000 отзывов, из которых 5400 негативных, 2630 позитивных и 1970 нейтральных (рисунок 1). Также набор содержит название учебного заведения и статус человека, который оставил отзыв.

Перед построением модели машинного обучения необходимо произвести следующие манипуляции с данными:

- Выделить только негативные и позитивные отзывы.
- Выравнять количество отзывов в каждом классе.
- Привести текст к нижнему регистру.
- Токенизировать текст.
- Очистить текст от символьных знаков.
- Очистить текст от стоп-слов.
- Осуществить лемматизацию текста.
- Осуществить векторизацию текста.

Первым этапом предварительной обработки данных стало удаление из начального набора нейтральных отзывов и выравнивание количества позитивных и негативных отзывов.

Следующим шагом произведена токенизация текста по словам.

Для приведения слов к их словарной основе использовался метод лемматизации текста (рисунок 2). Лемматизация является приоритетным методом относительно метода стемминга, так как при правильно составленном

словаре позволяет достичь лучшей унификации слов, с гораздо меньшим риском потери информации. Лемматизация проведена с помощью библиотеки `ruwordthru2` [6].

shortname_university	name_university	student_status	tonality	text_feedback
БФУ им. И. Канта	Балтийский федеральный университет имени Имма...	Студент этого вуза:	2	Полгода первого курса ии... Это
РХТУ им. Д. И. Менделеева	Российский химико-технологический университет и...	Студент этого вуза:	1	Что можно сказать? Я ожидала >
НГЛУ им. Н.А. Добролюбова	Нижегородский государственный лингвистический у...	Студент этого вуза:	2	Ребятаааа, я студентка первого г
МГОУ им. Кутафина	Московский государственный юридический универс...	Студент этого вуза:	3	Приветствую! Особенно абитури
СамГТУ	Самарский государственный технический университет	Студент этого вуза:	3	Университет, скажем так, более
СПбГУ	Санкт-Петербургский государственный университет	Студент этого вуза:	2	Отзыв на классический журфак.
МИЭТ	Национальный исследовательский университет Мос...	Студент этого вуза:	2	В своём отзыве распишу ту боль
ГУУ	Государственный Университет Управления	Студент этого вуза:	2	Начну с плюсов: 1. Местополож
ЮФУ	Южный федеральный университет	Выпускник этого вуза:	2	ИИМО, да, помню, ещё учителя
МПОА им. Кутафина	Московский государственный юридический универс...	Студент этого вуза:	3	Проучившись больше 3 лет в МГ
СПбГУ	Санкт-Петербургский государственный университет	Студент этого вуза:	3	Всем привет, сейчас учусь на ма
МАИ	Московский авиационный институт	Некто:	3	Московский авиационный инсти
РГПУ им. Герцена	Российский государственный педагогический униве...	Студент этого вуза:	2	Не знаю, какими словами опис
НИУ ВШЭ	Национальный Исследовательский Университет Выс...	Некто:	2	Если вы читаете это отзыв, то пр
ФУ при Правительстве РФ	Финансовый Университет при Правительстве Россий...	Студент этого вуза:	2	Если вы абитуриент, который тл
Университет МИСИС	Университет науки и технологий МИСИС	Студент этого вуза:	1	Здравствуйте, поступила на пер

Рис. 1. Фрагмент набора данных с отзывами об учебных заведениях

text_feedback	text_lemma
Полгода первого курса ии...\r\nЭто просто крик...	полгода первый курс ия это просто крик душа и ...
Что можно сказать? Я ожидала худшего после про...	что сказать я ожидать плохой прочтение отзыв п...
Ребятаааа, я студентка первого перевода.\r\n\r...	ребятаааа студентка первый перевод лето читать...
Приветствую! Особенно абитуриентов, которые во...	приветствовать особенно абитуриент который воз...
Университет, скажем так, более менее, есть над...	университет скажем менее работать итак начать ...

Рис. 2. Текст отзывов после предварительной обработки

Для обучения модели классификации тональности отзывов необходимо провести оценку важности слов в контексте используемого набора данных и представить их в виде числового вектора. Для этого используется статистическая мера TF-IDF (TF – term frequency, IDF – inverse document frequency). Важность слова прямо пропорционально частоте использования данного слова в документе и обратно пропорционально частоте его употребления во всех документах.

Частота слова (TF) рассчитывается как отношение числа вхождений некоторого слова к общему числу слов в документе.

$$tf(t, d) = \frac{n_t}{\sum_k n_k}, \quad (1)$$

где n_t – число вхождений слова t в документ, а в знаменателе общее число слов в документе.

Обратная частота документа (IDF) рассчитывается как инверсия частоты, с которой слово используется в документах коллекции.

$$idf(t, D) = \log \frac{|D|}{|\{d_i \in D | t \in d_i\}|}, \quad (2)$$

где $|D|$ – число документов в коллекции; $|\{d_i \in D | t \in d_i\}|$ – число документов из коллекции D , в которых встречается t (когда $n_t \neq 0$).

Таким образом, статистический показатель TF-IDF рассчитывается путем произведения двух сомножителей:

$$tf - idf(t, d, D) = tf(t, d) \times idf(t, D), \quad (3)$$

После подсчета метрик необходимо убедиться в равномерности распределения важности слов по их типу тональности (рисунок 3).

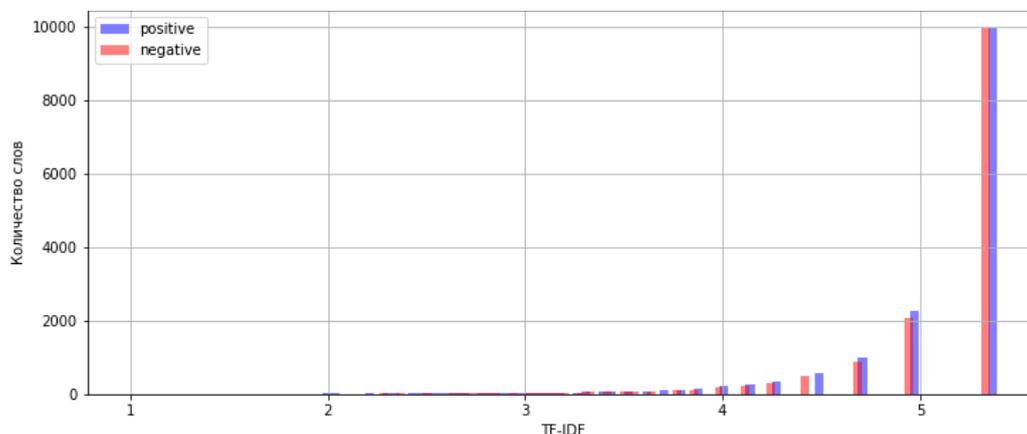


Рис. 3. Распределение биграмм по значениям TF-IDF

Существуют несколько подходов к определению тональности языковых текстов. Сделав большое обобщение, можно разделить существующие подходы на следующие категории:

- машинное обучение с учителем;
- машинное обучение без учителя;
- подход, построенный на словаре;
- подход, построенный на правилах;
- объектно-ориентированный подход;
- гибридный подход.

В разработанной модели использован метод машинного обучения с учителем – логистическая регрессия. Логистическая регрессия отлично подходит для поставленной задачи, так как позволяет интерпретировать результат в виде вероятности принадлежности текста к определенному классу, и получать веса признаков словаря.

Для каждого компонента вектора (слова), подаваемого на вход в модель логистической регрессии, рассчитывается вес, таким образом, чтобы после умножения каждого компонента вектора на свой вес и дальнейшего суммирования всех произведений получить для каждого текста число в диапазоне от 0 до 1. Полученное число рассматривается, как вероятность отношения отзыва к рассматриваемым классам тональности. Чем ближе число к 1, тем более вероятно принадлежность отзыва к негативному классу тональности.

Для оценки качества построенной модели использовалась матрица неточностей [7], показывающая точность прогнозирования классификатора в отношении двух и более классов (рисунок 4).



Рис. 4. Матрица неточностей для модели логистической регрессии

Изучив матрицу неточностей, можно сделать вывод о том, что разработанная модель функционирует с высокой точностью, так как значения матрицы по главной диагонали равны 0.9 и 0.92. Данные числовые значения показывают долю верно классифицированных отзывов каждого класса тональности.

Так как разработанная модель показывает высокую точность, был проведен анализ тональности отзывов, не входящих в обучающую выборку и содержащий нейтральные отзывы. Значения коэффициента тональности отзывов лежат в следующих промежутках, которые определяют пороговые значения каждого класса составили:

- [0.53; 1]** для класса негативных отзывов;
- [0; 0.41]** для класса позитивных отзывов;
- [0.41; 0.53]** для класс нейтральных отзывов.

На исходных данных проведен анализ распределения отзывов по оценке тональности (рисунок 5).



Рис. 5. Распределение отзывов по оценке тональности

Методология составления рейтинга учебных заведений

Предварительным этапом в составлении рейтинга является реализация механизма сбора данных, необходимых для анализа. Данные должны в полной мере отражать результативность образовательных организаций в каждой сфере деятельности (образовательная, научно-исследовательская, международная, финансово-экономическая, преподавательская, инфраструктурная), а также общественное мнение.

В ходе анализа открытых официальных источников был определен перечень необходимых данных, а также реализован инструментарий для сбора актуальных показателей деятельности образовательных организаций. Сбор данных произведён из 2 источников, рассмотренных ниже.

Первый набор данных представляет собой показатели мониторинга деятельности более 1200 организаций высшего образования, произведенного главным информационно-вычислительным центром федерального агентства по образованию РФ (ГИВЦ Рособразование) [8] (рисунок 6). Набор содержит данные мониторинга в период с 2016 по 2023 год.

Наименование показателя	2019	2020	2021	2022	2023 Динамика
Е.1. Образовательная деятельность Средний балл ЕГЭ студентов, принятых по результатам ЕГЭ на обучение по очной форме по программам бакалавриата и специалитета за счет средств соответствующих бюджетов бюджетной системы Российской Федерации и с оплатой стоимости затрат на обучение физическими и юридическими лицами	59,92	62,04	63,55	63,76	62,46 ▼ -2,0%
Е.2. Научно-исследовательская деятельность Объем НИОКР в расчете на одного научно-педагогического работника, за исключением ППС из числа работников предприятий и организаций (кроме образовательных), привлеченных к образовательной деятельности по реализации образовательных программ бакалавриата, специалитета, магистратуры	246,81	267,62	269,42	144,75	167,38 ▲ +15,6%
Е.3. Международная деятельность Удельный вес численности иностранных студентов, обучающихся по программам бакалавриата, специалитета, магистратуры, в общей численности студентов (приведенный контингент)	5,59	6,25	8,15	9,13	9,44 ▲ +3,4%
Е.4. Финансово-экономическая деятельность Доходы образовательной организации из всех источников в расчете на одного НР	1 843,72	2 013,62	2 126,96	2 471,11	2 644,58 ▲ +7,0%
Е.5. Зароботная плата ППС Отношение заработной платы профессорско-преподавательского состава к средней заработной плате по экономике региона	205,61	209,33	211,00	202,30	204,28 ▲ +1,0%
Е.8. Дополнительный показатель Численность сотрудников, из числа профессорско-преподавательского состава (приведенных к доле ставки), имеющих ученые степени кандидата или доктора наук, в расчете на 100 студентов	4,34	4,40	4,58	3,72	3,54 ▼ -4,8%

Рис 6. Фрагмент данных мониторинга деятельности организаций высшего образования

Набор содержит информацию по следующим группам показателей:

1. Образовательная деятельность.
2. Научно-исследовательская деятельность.
3. Международная деятельность.
4. Финансово-экономическая деятельность.
5. Инфраструктура организации.
6. Кадровый состав организации.

Второй набор данных содержит более 26000 отзывов об образовательных организациях, оставленных студентами, преподавателями и абитуриентами (рисунок 7). Отзывы, представленные в наборе, прошли проверку модераторами и опубликованы в социальной сети «ВКонтакте» для публичного обсуждения. После подтверждения объективности отзывы добавляются в информационный портал для поступающих в российские вузы по программам бакалавриата и специалитета «Табитуриент: Типичный абитуриент», откуда был произведен сбор.

short	abbreviation	name_university	student_status	text_feedback
altsu	АлтГУ	Алтайский государственный университет	Выпускник этого вуза:	Начну с того, что в Барнауле вы не станете грамот
altsu	АлтГУ	Алтайский государственный университет	Выпускник этого вуза:	Здравствуйте! Меня зовут Александр. Я живу в го
amursm	АмГМА	Амурская государственная медицинская ака	Студент этого вуза:	Поступал сюда из соображений мол "больше нек
asu	АГУ	Астраханский государственный университет	Отчисленный:	Вышло так, что в 2018 выкатили сложный профил
astrahar	Астраханский ГМУ	Астраханский государственный медицинский	Студент этого вуза:	Думал написать это после обучения, но настал тс
astrahar	Астраханский ГМУ	Астраханский государственный медицинский	Студент этого вуза:	Здравствуйте!Решил написать о своем универси
vsuwt	ВГУВТ	Волжский государственный университет вод	Студент этого вуза:	Если вы любите свою жизнь и хотите ее улучшить
vsuwt	ВГУВТ	Волжский государственный университет вод	Студент этого вуза:	Вуз позиционирует себя как "ведущий транспорт
belgu	БелГУ	Белгородский государственный национальн	Студент этого вуза:	Я обучаюсь на направлении "Прикладная информ
belgu	БелГУ	Белгородский государственный национальн	Студент этого вуза:	Здравствуйте!Не буду долго морочить вам голову
belgu	БелГУ	Белгородский государственный национальн	Студент этого вуза:	Так вышло, что я проучился в этом месте два с по
belgu	БелГУ	Белгородский государственный национальн	Студент этого вуза:	По порядку:1. ОбщежитиеЗаселение-сплошная б
belgu	БелГУ	Белгородский государственный национальн	Студент этого вуза:	Не советую поступать в БелГУ. Распиаренная шар
belgu	БелГУ	Белгородский государственный национальн	Студент этого вуза:	Возможно, этот отзыв будет полезен тем, кто сол
bgiiik	БГИИК	Белгородский государственный институт иск	Некто:	Начнем с того, что по отношению к этой шаражки
misiss	Университет МИСИС	Университет науки и технологий МИСИС	Выпускник этого вуза:	ОЧЕНЬ МНОГО НЕРВОВ Разберём плюсы и минусы
misiss	Университет МИСИС	Университет науки и технологий МИСИС	Выпускник этого вуза:	Приветствую!Я учился в НИТУ МИСИС 4 года (о
misiss	Университет МИСИС	Университет науки и технологий МИСИС	Студент этого вуза:	Я поступила на направление "наноматериалы"Не

Рис. 7. Фрагмент набора данных с отзывами об учебных заведениях

Набор данных содержит краткое и полное название учебного заведения; статус человека, оставившего отзыв (абитуриент, студент, выпускник, отчисленный студент, преподаватель или администрация учебного заведения); а также подробное мнение об образовательной организации (не менее 900 символов).

Каждый отзыв прошел процедуру определения тональности на основе разработанной модели машинного обучения и использован в формировании рейтинга вузов.

Целью составления рейтинга образовательных организаций высшего образования является оценка их способности обеспечивать выпускникам высокое качество знаний, навыков и умений, исходя из условий их применения.

Оценка качества образовательной организации строится на анализе количественных характеристик следующих интегральных факторов, каждый из которых имеет свою степень влияния на итоговый результат:

1. Уровень образовательной деятельности. Степень влияния: 50%.
2. Уровень научно-исследовательской деятельности. Степень влияния: 20%.
3. Уровень международной деятельности. Степень влияния: 5%.
4. Уровень финансово-экономической деятельности. Степень влияния: 10%.
5. Уровень развития инфраструктуры. Степень влияния: 5%.
6. Качество кадрового состава. Степень влияния: 5%.

7. Оценка отзывов. Степень влияния: 5%.

Каждый из факторов определяется некоторым количеством показателей, характеризующих важнейшие аспекты деятельности образовательных организаций.

Дальнейший алгоритм формирования рейтинга образовательной организации состоит из следующих этапов:

1. Определение рейтинга по каждому показателю.
2. Определение рейтинга по группе факторов.
3. Определение рейтинга образовательной организации.

Для наглядного представления алгоритма была разработана блок-схема (рисунок 8).

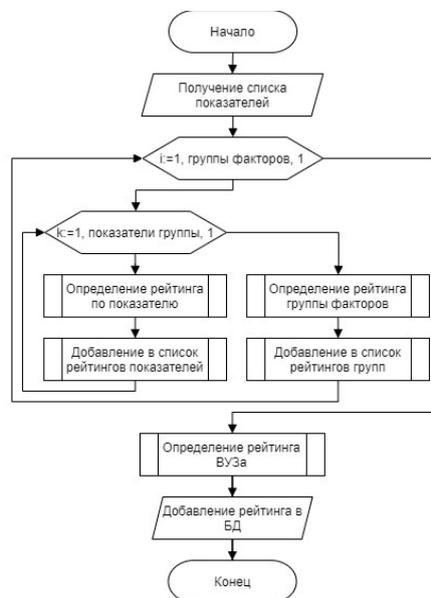


Рис. 8. Алгоритм вычисления рейтинга

Рейтинг образовательной организации по показателю рассчитывается следующим образом:

1. Формирование списка значений всех организаций по выбранному показателю и его сортировка по возрастанию.
2. Использование индекса расположения образовательной организации в сформированном списке в качестве рейтинга.

Рейтинг образовательной организации по группе факторов считается по формуле:

$$p = \sum_{x=0}^m \frac{r_x}{m}, \quad (4)$$

где m – количество показателей в группе, x – индекс показателя в группе, r_x – рейтинг организации по показателю x .

Общий рейтинг образовательной организации считается по формуле:

$$P = \sum_{i=0}^n \frac{p_i k_i}{n}, \quad (5)$$

где n – количество групп показателей, i – индекс группы, p_i – рейтинг организации в группе i , k_i – коэффициент влияния группы i на итоговый рейтинг.

После определения рейтингов всех образовательных организаций формируется сортированный по возрастанию список, который является рейтингом образовательных организаций высшего образования.

Результаты исследований и их обсуждение. На основе разработанной рейтинговой системы и модели определения тональности естественных языковых текстов были вычислены рейтинги высших учебных заведений России и сформированы списки лучших в период с 2018 по 2023 год (рисунок 9).

В списке также отображены места учебных заведений в рейтинге по наиболее влияющим на результат видам деятельности.

С помощью разработанной системы можно проследить динамику результатов деятельности образовательных организаций (рисунок 10).

Результат анализа ежегодных рейтингов показал, что многие из престижнейших образовательных организаций России показали в 2021 году резкое снижение результативности.

Произведено сравнение списка лучших образовательных организаций высшего образования по мнению компании «РАЭК-Аналитика» со списком, сформированным разработанной системой (таблица 1). В первом столбце место организации в разработанной системе, а в последующих столбцах место этой же организации в системе RAEX.

Результат сравнения показал, что многие организации, стоящие на верхних строчках рейтинга RAEX, не занимают те же лидирующие позиции в разработанной системе. В 2021 году по-прежнему наблюдается резкое снижение результативности учебных заведений, имеющих высокий рейтинг в предшествующих и последующих годах. В 2023 году рейтинг Северо-Западного государственного медицинского университета имени И.И. Мечникова значи-

тельно отличается от рейтинга в системе RAEX, располагаясь на 3 месте вместо 73.

Место	Название	Общий рейтинг (балл)	Рейтинг образования (место)	Рейтинг науки (место)	Рейтинг финансов (место)
1	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»	163,57	10	10	159
2	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»	163,35	3	122	89
3	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова" Министерства здравоохранения Российской Федерации	162,14	20	116	76

Рис 9. Рейтинг лучших вузов России, 2023 год

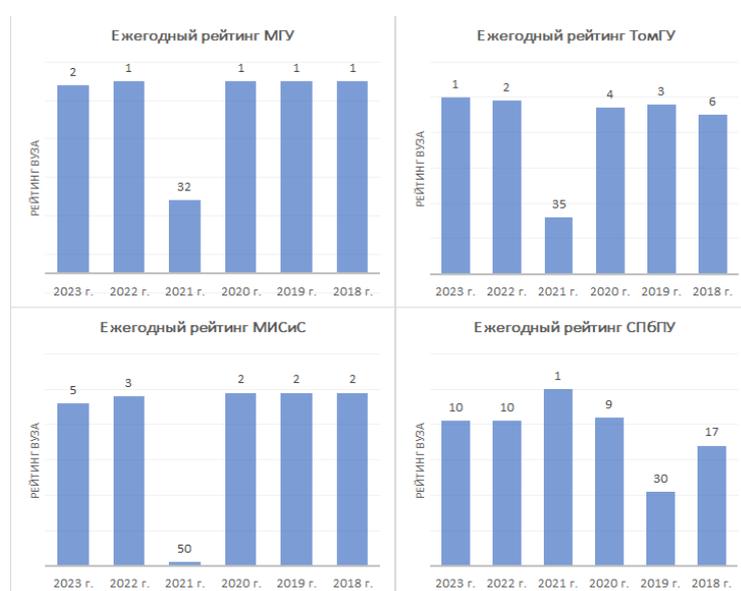


Рис 10. Ежегодные рейтинги образовательных организаций

Таблица 1

Сравнение разработанного рейтинга с RAEX

Место в разработанной системе	Место организации в системе RAEX					
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	1	1	1	9	1	9
2	18	17	17	-	18	1
3	2	13	2	77	16	73
4	44	2	15	37	2	21
5	3	14	3	39	17	17
6	41	39	20	-	31	16
7	13	10	36	14	4	2
8	8	7	24	64	21	22
9	7	4	8	33	22	7
10	15	3	7	58	8	8

В десятку лучших образовательных организаций высшего образования Российской Федерации 2023 года вошли:

1. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».
2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».
3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова".
4. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова".

5. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

6. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова.

7. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Московский физико-технический институт".

8. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский авиационный институт".

9. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный институт международных отношений».

10. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Заключение. В результате проведенного исследования была разработана модель машинного обучения для анализа тональности текстов на естественном языке. Разработанная модель была использована для оценки тональности отзывов об образовательных организациях, которые были использованы в виде дополнительного фактора, влияющего на эффективность работы вузов. Данная модель показала высокую точность работы, так как для ее обучения был использован набор, содержащий тексты из рассматриваемой предметной области.

Сформулирована методика определения рейтинга образовательных организаций, реализован инструмент для сбора анализируемой информации и разработана автоматизированная рейтинговая система. Данная система учитывает плюсы и минусы российских и зарубежных аналогов. Ее отличительными чертами являются:

- Использование открытых данных из официальных и независимых источников.
- Использование данных, содержащихся по большинству учебных заведений России.
- Использование метода машинного обучения для анализа тональности отзывов о вузах в качестве фактора, влияющего на рейтинг образовательной организации.
- Качественная структура показателей, в полной мере характеризующая все виды деятельности, влияющие на результативность образовательных организаций.
- Автоматизация полного цикла анализа (от сбора данных до конечного результата).

Разработанные методы и алгоритмы были использованы, как часть функционала информационно-аналитической системы для анализа деятельности высших учебных заведений.

Список литературы

1. Young University Rankings 2023 Times Higher Education URL: <https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/2023/young-university-rankings> (дата обращения: 14.01.2024).

2. List of 300 best universities in the world – EduRank. URL: <https://edurank.org/geo> (дата обращения: 14.01.2024).

3. Московский международный рейтинг вузов "Три миссии университета", 2023. MosIUR. URL: <https://mosiur.org/ranking> (дата обращения: 14.01.2024).

4. Рейтинг лучших вузов России RAEX-100, 2023 год – RAEX («РАЭК-Аналитика»). URL: https://raex-rr.com/education/russian_universities/top-100_universities/2023 (дата обращения: 14.01.2024).

5. Отзывы о вузах – Табитуриент. URL: <https://tabiturient.ru/slivlist> (дата обращения: 15.01.2024).

6. Ганегедара Т. Обработка естественного языка с TensorFlow: руководство / Т. Ганегедара; перевод с английского В. С. Яценкова. Москва: ДМК Пресс, 2020. 382 с.

7. Вьюгин В.В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования. М.: МЦНМО, 2018. 227 с.

8. Мониторинг ВО – МИРЭА – Российский технологический университет. URL: <https://monitoring.miccedu.ru> (дата обращения: 15.01.2024).

9. Kuzmenko A, Kondratenko S, Dergachev K and Spasennikov V. Ergonomic support for logo development based on deep learning In the proceedings: PROCEEDINGS of the seminar CEUR 30. Ser. ""Graphics in 2020 - Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision" V. 2744.

10. Сазонова А.С., Филиппова Л.Б., Филиппов Р.А., Леонов Ю.А., Мартыненко А.А. Теория и системы управления: лабораторный практикум. Брянск: БГТУ, 2017. 46 с.

11. Копелиович Д.И., Филиппов Р.А., Филиппова Л.Б., Трубаков Е.О. Теоретическое и методическое обеспечение мониторинга социально-экономических систем с применением хранилищ данных в технологии OLAP: монография. Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2021. 124 с.

12. Леонов Ю.А., Леонов Е.А., Зуева А.С., Сазонова А.С. Поиск оптимальных технологических процессов с использованием алгоритмов эвристического поиска // Вестник Брянского государственного технического университета. 2017. № 4 (57). С. 122-127.

13. Лагерева А.В., Сазонова А.С., Филиппов Р.А. Модель оценки социально-демографического потенциала и его влияние на структуру высшего профессионального и послевузовского образования в регионе // Информационные системы и технологии. 2012. № 3 (71). С. 72-77.

Леонов Юрий Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, yorleon@yandex.ru, Россия, Брянск, Брянский государственный технический университет,

Филиппов Родион Алексеевич Филиппов, канд. техн. наук, доцент, redfil@mail.ru, Россия, Брянск, Брянский государственный технический университет,

Живодовский Иван Иванович, студент, libv88@mail.ru, Россия, Брянск, Брянский государственный технический университет

THE USE OF NATURAL LANGUAGE PROCESSING METHODS IN THE FORMATION OF THE RATING SYSTEM OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Yu.A. Leonov, R.A. Filippov, I.I. Zhivodovsky

This article discusses the problem of analyzing the activities of educational institutions of higher education in the Russian Federation. The analysis of existing methodologies for the formation of rating systems is carried out. The factors influencing the rating of educational organizations are investigated. Algorithms and methods of aggregation of the result of the analysis of the activities of higher educational institutions are considered. The analysis of the obtained rating and the results of the analytical models is carried out.

Key words: education, analysis of educational institutions, rating of educational institutions, natural language processing, data analysis, data mining, text tonality assessment, regression.

Leonov Yuri Alekseevich, candidate of technical sciences, docent, yorleon@yandex.ru, Russia, Bryansk, Bryansk State Technical University,

Filippov Rodion Alekseevich, candidate of technical sciences, docent, redfil@mail.ru, Russia, Bryansk, Bryansk State Technical University,

Zhivodovsky Ivan Ivanovich, student, libv88@yandex.ru, Russia, Bryansk, Bryansk State Technical University

УДК 681.532.55

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-28-29

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФРАНИЗКОЙ УГЛОВОЙ СКОРОСТЬЮ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ВНОСИМОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

Д.С. Положенцев

Представленное в данной работе исследование затрагивает область управления инфранизкой угловой скоростью вращения в прецизионных электромеханических системах. Показана актуальность проведения исследования системы управления с дополнительным контуром компенсации несоосности. Статья содержит методический разбор исследования влияния различных параметров, а также структурных особенностей систем управления на их работоспособность для прецизионных электромеханических систем. Приведены результаты проведенного анализа, которые подчеркивают актуальность проблемы выбора параметров и структуры систем управления для обеспечения их эффективности в различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: Система управления угловой скоростью, инфранизкая угловая скорость, датчик углового положения, механическая передача, плавность углового перемещения, частотный анализ.

Введение. На сегодняшний день существует некоторое количество электромеханических устройств, для работы которых характерно наличие таких режимов, при которых происходит отработка угловых скоростей вращения исполнительных осей (ИО) в пределах от десятых до тысячных долей градуса в секунду. К таким устройствам можно отнести управляющий электропривод солнечной батареи [1], электропривод антенны приемопередающего устройства [2], привода опорно-поворотного устройства телескопа [3] и т. д. Указанный рабочий диапазон угловых скоростей вращения называется инфранизким, так как находится ниже порога восприятия человеческим глазом. Для осуществления отработки таких угловых скоростей требуется разработка специальных систем управления. Как правило, в таких системах основной задачей является отработка заданной угловой скорости ИО с максимальной точностью и плавностью, при этом погрешность не должна достигать нескольких десятков угловых секунд. Несмотря на свое не частое упоминание в литературе, системы управления инфранизкими угловыми скоростями вращения имеют довольно широкий спектр применений и используются в различных областях, например, в производственных линиях, где необходима точность и стабильность работы на низких скоростях.

В настоящее время требования к точности протекания динамических процессов в рамках работы сложных электромеханических систем становятся все более жесткими, и потому разработанные на современном этапе методы их синтеза и анализа становятся все менее пригодными для соответствующих целей функционирования таких систем. Синтез систем управления инфранизкой угловой скоростью вращения сталкивается с проблемой того, что элементы конструкции у них обладают податливостью, в то время как движущиеся части – значительными моментами инерции. В то же время механические части устройств зачастую находятся под воздействием весовых, ветровых и/или тепловых возмущений, вследствие которых возникают некомпенсируемые деформации составных элементов. В результате воздействия данных причин возникают низкочастотные нелинейные нестационарные процессы, одновременно с которыми происходит слабое демпфирование, что в совокупности оказывает негативное влияние на качество создаваемой системой управления угловой скорости вращения ИО [4, 5].

Актуальность исследуемой системы. Для замыкания контура обратной связи для регулирования угловых скоростей вращения инфранизкого диапазона требуется использование датчика углового положения (ДУП) с высокой разрешающей способностью в 23-26 разрядов двоичного кода [6]. Такая разрешающая способность позволяет использовать такие датчики для прецизионной оценки угловой скорости вращения ИО и исключить необходимость применения измерителей угловой скорости [7]. Тем не менее, существуют достаточно строгие требования относительно устойчивости к разрушительным силам космической среды и продолжительному периоду активной работы, наличию резервирования, а также показателям массы и габаритов для указанных ранее изделий, что объясняется спецификой их применения. По этой причине в большинстве случаев накладывается значимое ограничение на разрешающую способность ДУП, которая обычно не должна быть больше 16-19 разрядов [8]. Для того, чтобы сформировался контур прецизионного регулирования угловой скорости вращения ИО, такой показатель не является достаточным.

Известная структура системы управления угловой скоростью вращения с помощью ДУП, с разрешающей способностью, недостаточной для точного вычисления отмеченных угловых скоростей вращения, состоит в интегрировании задающего угловую скорость сигнала и последующей работе в режиме следящей системы по линейно изменяющемуся углу [7]. Подобная структура управления позволяет производить плавную отработку угловых скоростей вращения вплоть до тысячных долей градуса в секунду с использованием (16-19)-разрядного ДУП. В то же время, если требуется увеличить чувствительность отработки задаваемой угловой скорости, то в электропривод добавляется также механическая передача, а дополнительный контур обратной связи становится возможным создать с помощью ДУП, установленного на ось ротора двигателя электропривода [9]. В соответствии с современными требованиями к прецизионным электроприводам в отношении их точности, в режиме малых скоростей вращения чувствительность системы управления возможно значимым образом улучшить с помощью применения обратной связи по угловому положению ротора двигателя. Серьезным недостатком таких систем управления является, однако, то, что контур обратной связи охватывает не все элементы конструкции электропривода. Из-за этого определенная погрешность будет наблюдаться в создаваемой угловой скорости вращения исполнительной оси (ИО), которая возникает в том числе в результате несоосности ИО и ротора двигателя. Становится очевидным, что несоосность установки зубчатых колес механической передачи, кинематическая ее погрешность, а также угловые погрешности ДУП являются факторами, определяющими вид разности показаний ДУП.

Ранее в исследовании [7] была разработана структурная схема системы управления, которая в случае замкнутого по угловому положению ротора двигателя контура обратной связи позволяет существенным образом уменьшить воздействие несоосности механической передачи на угловую скорость ИО. Схема изображена далее на рисунке 1, в ней используются следующие условные обозначения: И_Д – интегратор угловой скорости вращения ротора двигателя; КУ – корректирующее устройство; И_{ОУ} – интегратор угловой скорости вращения ОУ; РУ – регулятор контура угла; ШИМ+УМ – широтно-импульсный модулятор и усилитель мощности; Д – двигатель; Р+ОУ – редуктор и ОУ; ДУП_Д – датчик углового положения ротора двигателя; ДУП_{ОУ} – датчик углового положения ОУ; N_ω – задаваемый код скорости; N_{φ зад Д} – вычисляемый код углового положения ротора двигателя; N_{φ зад ОУ} – вычисляемый код углового положения ОУ, N_{φ Д} – код углового положения ротора двигателя; N_{φ ОУ} – код углового положения ОУ; ΔN_{φ Д} – сигнал рассогласования угла по оси ротора двигателя; ΔN_{φ ОУ} – сигнал рассогласования угла ОУ; N_{шмм} – код расчетного значения вектора напряжения; U_{ум} – выходной сигнал усилителя мощности; α_Д – угловое положение ротора двигателя; α_{ОУ} – угловое положение ОУ; ω_{ОУ} – угловая скорость ОУ [10].

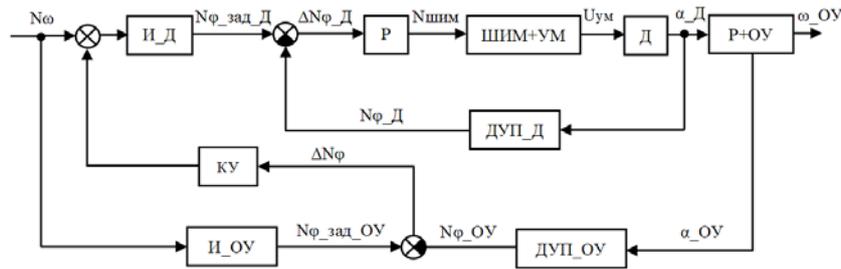


Рис. 1. Структурная схема системы управления

Для уменьшения влияния несоосности механической передачи вводится дополнительный контур регулирования – сравнивается расчетное «идеальное» угловое положение ОУ и текущее, полученное с помощью ДУП установленного на ось вращения ОУ. Сигнал рассогласования поступает на корректирующее устройство (КУ), которое определяет величину, на которую будет скорректировано значение задаваемой угловой скорости, тем самым компенсируется влияние несоосности. Благодаря этого формирование управляющего сигнала происходит на основе данных ДУП, которые установлены на разных осях системы управления.

Проведение частотного анализа. Одним из важных этапов в разработке новой системы управления является проведение сравнительного частотного анализа. Этот метод позволяет оценить производительность системы управления в различных условиях и сравнить ее с другими системами, которые были разработаны ранее. Частотный анализ позволяет определить, какая система управления лучше всего подходит для конкретной задачи, и какие изменения необходимо внести в новую систему, чтобы она стала более эффективной.

Для проведения исследований и анализа работы предложенной системы управления была составлена ее функциональная схема, представленная на рис. 2. На схеме приняты следующие обозначения: W_{p-y} – передаточная функция тракта «регулятор угла – усилитель мощности»; $K_{и д}$, $K_{и оу}$ – коэффициенты передачи интегратора угловой скорости вращения двигателя и объекта управления, соответственно; $K_{дуп д}$, $K_{дуп оу}$ – коэффициенты передачи датчика углового положения двигателя и объекта управления, соответственно; $T_{дуп д}$, $T_{дуп оу}$ – постоянная времени датчика углового положения двигателя и объекта управления, соответственно; K_{pm} – коэффициент редукторной передачи; C – коэффициент угловой жесткости, K_y – коэффициент передачи корректирующего устройства; K_{ω} – коэффициент противо-ЭДС двигателя; J_d , J_{oy} – момент инерции ротора двигателя и момент инерции объекта управления, соответственно. В исследуемой системе управления используется вентильный двигатель постоянного тока, с передаточной функцией (формула 1):

$$W_{\partial}(s) = \frac{\frac{1}{R_3} \cdot K_M}{\frac{L_3}{R_3} s + 1}, \quad (1)$$

где R_3 – эквивалентное фазовое сопротивление двигателя; K_M – коэффициент электродвигателя по току; L_3 – эквивалентная фазная индуктивность двигателя.

Входным сигналом в исследуемой системе управления является угловая скорость вращения $\omega_{зад}$, а выходным – угловое положение объекта управления $\alpha_{оу}$. На Рис. 3 представлены логарифмические амплитудо-частотные

характеристики (ЛАЧХ) двух систем управления с дополнительным контуром компенсации несоосности и без него. Стоит отметить, что рабочий спектр частот для исследуемых систем управления лежит в области до 1 рад/с.

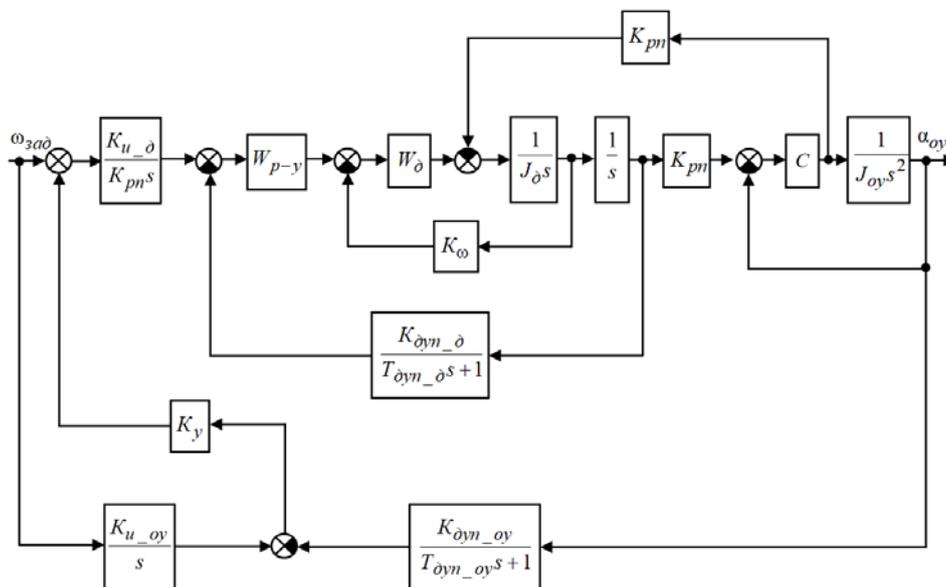


Рис. 2. Функциональная схема исследуемой системы управления

Видно, что использование дополнительного контура компенсации несоосности значительно увеличивает общий коэффициент усиления разомкнутой системы на низких частотах. Однако, при увеличении частоты входного сигнала разница между величинами коэффициентов передачи систем управления с контуром компенсации несоосности и без него постепенно снижается. Коэффициент передачи разомкнутой системы управления с контуром компенсации несоосности может быть вычислен по следующей формуле (2):

$$K = \frac{K_1 \cdot (1 + K_{u_{oy}} \cdot K_y)}{1 + K_1 \cdot K_y \cdot K_{\delta_{dyn_{oy}}}} \quad (2)$$

где K_1 – коэффициент передачи системы без дополнительного контура.

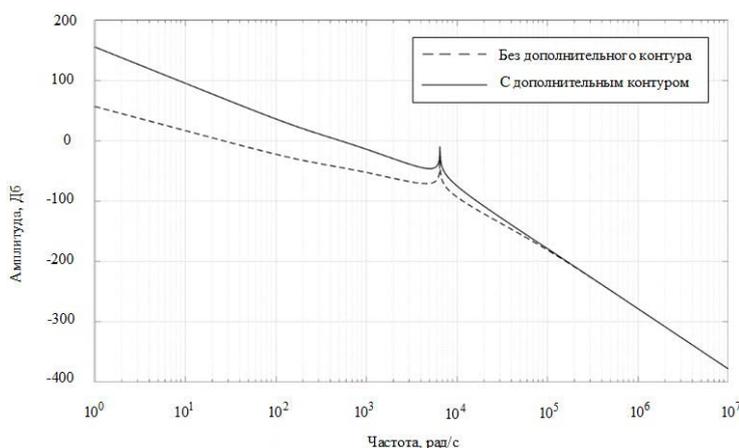


Рис. 3. ЛАЧХ системы управления с дополнительным контуром и без дополнительного контура

Таким образом, можно сделать вывод, о том, что выбор параметров имеет важное значение при проектировании подобных систем. Неверный выбор разрядности ДУП, регулятора или коэффициента передачи интегратора угловой скорости при синтезе системы управления может привести к тому, что контур компенсации несоосности не будет обеспечивать требуемого качества работы.

Также стоит обратить внимание, что резонансная частота, связанная с двухмассовым представлением исследуемой системы, не изменяет своего значения, несмотря на полный охват механической системы контуром компенсации несоосности. Сама частота определяется по формуле (3):

$$\omega_p = \sqrt{\frac{C \cdot (J_{oy} + J_{\delta} \cdot i^2)}{J_{oy} J_{\delta} \cdot i^2}} \quad (3)$$

где $i = 1/K_{pn}$ – передаточное число редуктора.

На рисунке Рис. 4 представлен набор ЛАЧХ системы управления с контуром компенсации несоосности с переменным значением добротности внутреннего контура регулирования. Входом исследуемой системы являлась задаваемая угловая скорость вращения ИО, а выходом – величина компенсации угловой скорости (сигнал с выхода КУ).

Видно, что при увеличении коэффициента передачи системы величина компенсации угловой скорости нелинейно снижается в низкочастотной области, вместе с этим наблюдается изменение частоты полосы режекции в низкочастотном спектре. Так же, при изменении коэффициента усиления внутреннего контура происходит изменение частоты режекции. Данные факты требуют тщательного дополнительного изучения, так как вид частной характеристики в этой области определяет качество работы всего устройства.

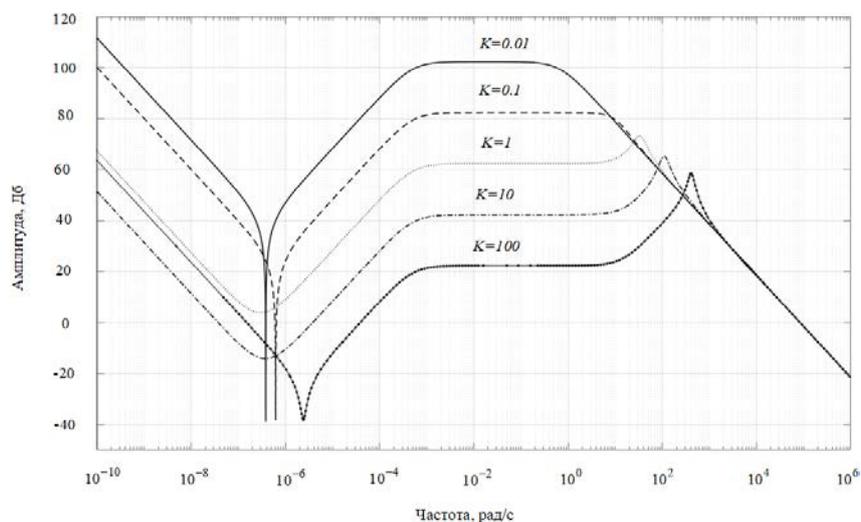


Рис. 4. ЛАЧХ системы управления при разных коэффициентах усиления

При дальнейшем росте коэффициента усиления можно наблюдать, во-первых, снижение общего коэффициента усиления системы (то есть теряются компенсационные свойства дополнительного контура), а во-вторых, появление резонансной частоты в области высокочастотного (относительно рабочих частот) спектра. Правее частоты резонанса величина компенсации угловой скорости уже не зависит от величины коэффициента усиления и резко падает с увеличением задаваемой угловой скорости.

Выводы. Проведенное исследование показывает важность систем управления инфранизкой угловой скоростью вращения, особенно в контексте прецизионных электромеханических систем. Методический анализ ЛАЧХ системы управления с дополнительным контуром компенсации несоосности позволяет утверждать, что выбор параметров имеет решающее значение в разработке подобных систем. Применение отмеченной структурной схемы имеет потенциал для улучшения качества регулирования на низких частотах, что подчеркивает важность внедрения дополнительных контуров обратной связи. Однако, увеличение частот входного сигнала приводит к снижению различий между системами управления с и без контура компенсации несоосности. Кроме того, анализ изменений величины компенсации угловой скорости при изменении коэффициента передачи системы подчеркивает важность тщательного дополнительного изучения таких аспектов. Необходимо принимать во внимание вышеуказанные факты, осуществляя синтез систем управления со способом компенсации несоосности, предлагаемым в настоящем исследовании, а также при выборе параметров КУ для таких систем.

Список литературы

1. Положенцев Д.С., Джукич Д.Й., Захаров Д.Н. Система управления исполнительного электропривода устройства поворотной солнечной батареи космического аппарата // Омский научный вестник. 2019. № 5(167). С. 72–76.
2. Дубаренко В. В., Кучмин А. Ю., Артеменко Ю. Н., Шишлаков В. Ф. Радиотелескопы миллиметрового диапазона с регулируемыми поверхностями зеркал: монография. СПб.: ГУАП, 2019. 239 с.
3. Садовников В. А., Томасов В. С., Толмачев В. А. Прецизионный электропривод для оптических комплексов контроля космического пространства // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. №6. С. 81–86.
4. Томасов В. С., Денисов К. М., Толмачев В. А. Следящие электроприводы систем наведения оптико-механических комплексов нового поколения. Проблемы и достижения // Тр. V междунар. (XVI Всеросс.) конф. по автоматизированному электроприводу. СПб: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2007. С. 175–177.
5. Янгулов В. С. Экспериментальные исследования влияния параметров редуктора на динамику электромеханического исполнительного органа // Известия ТПУ. 2008. № 2. С. 139–146.
6. Садовников М. А. Измерение скорости движения силового электропривода с помощью оптических датчиков угла // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. Т. 51. № 6. С. 52–57.
7. Положенцев Д. С., Казаков Е. П., Малых Б. И. Способ компенсации влияния несоосности механической передачи в низкоскоростных прецизионных электроприводах // Известия Высших Учебных Заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64. № 8. С. 638–648.
8. Кирьянов А.В. и др. Повышение точностных параметров лазерных генераторов изображений с круговым сканированием для формирования прецизионных углоизмерительных структур // Системы анализа и обработки данных. 2013. № 3 (52). С. 46-50.
9. Якимовский Д.О., Положенцев Д.С., Джукич Д.Й. Исполнительный электропривод перспективного силового гироскопического комплекса // Доклады ТУСУР. 2018. Т. 21. № 3. С. 103–108.
10. Положенцев Д. С., Казаков Е. П., Сольнищев Р. И. Частотный анализ системы управления низкоскоростного прецизионного электропривода с контуром компенсации влияния несоосности механической передачи //

Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: материалы XXV Международной научной конференции. СПб: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. С. 242-246.

Положенцев Дмитрий Сергеевич, старший преподаватель, pds6476564@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

RESEARCH OF THE CONTROL SYSTEM OF INFRA-LOW ANGULAR VELOCITY WITH MISALIGNMENT COMPENSATION

D.S. Polozhentsev

The research presented in this paper focuses on the topic of ultra-low angular velocity control of precision electromechanical systems. The relevance of the study of the control system with an additional misalignment compensation scheme is shown. The paper contains a methodical analysis of the investigation of the influence of various parameters as well as design features of control systems on their performance for precision electromechanical systems. The results of the analysis are presented, which emphasize the relevance of the problem of selecting the parameters and structure of control systems to ensure their efficiency in various operating conditions. The findings of this analysis underscore the significance of selecting appropriate parameters and control system structures to ensure efficiency in diverse operating conditions.

Key words: Angular velocity control system, infra-low angular velocity, angular position sensor, mechanical transmission, angular motion smoothness, frequency analysis.

Polozhentsev Dmitry Sergeevich, senior lecturer, pds6476564@yandex.ru, Russia, Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

УДК 331.45

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-32-33

ПРОЦЕССЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ШУМА ПРИ РУЧНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.Г. Исаев

Обеспечение безопасных условий труда при реализации технологических операций является важной и актуальной задачей в современном производстве. К одной из популярных технологических операций относится сварка и абразивная обработка, которая является обязательным этапом по итогу проведения сварочных работ. Однако процесс обработки сопровождается повышенным шумовыделением, что подтверждается в различных источниках. Превышение предельно-допустимых уровней шума приводит к снижению производительности и эффективности труда. В данной статье рассмотрены теоретические вопросы, связанные с образованием шума и вибрации при ручной обработке. В большинстве случаев приходится выполнять абразивную обработку вручную, а в этом случае, обеспечить выполнение санитарных норм уровня шума довольно сложно. Получены скорости колебаний абразивного инструмента при ручной зачистке сварных соединений. Представлены способы обеспечения безопасных условий труда в рабочей зоне.

Ключевые слова: абразивная обработка, уровни звукового давления, спектры шума, сварное соединение, рамные конструкции, стержневые конструкции.

В современном производстве для большинства металлических конструкций в качестве технологического процесса соединения этих конструкций используется сварка. Так как сам процесс довольно популярный из-за своей доступности и обеспечивает надежное неразъемное соединение. Одним из обязательных этапов изготовления сварного соединения является механическая обработка зоны сварки абразивным инструментом. Однако при абразивной обработке возникает ряд опасных и вредных производственных факторов. Одним из таких факторов можно выделить повышенное шумообразование, значение которого превышают предельно-допустимые значения, что является актуальной научной проблемой [4-6].

Процесс обработки абразивным инструментом сварных соединений может быть выполнен как на специальном шлифовальном станке, так и вручную. Однако стоит отметить, что в большинстве случаев обработка выполняется вручную, при обслуживании конструкций во время эксплуатации и обработке громоздких, цельных конструкций для которых использование станка невозможна. При этом добиться обеспечения безопасных условий труда по обеспечению санитарных уровней шума довольно сложно. Полученные экспериментальные исследования [1-3] показали, что доминирующим источником шума при реализации технологического процесса является обрабатываемая деталь и сам инструмент. Превышение уровней шума при ручной абразивной обработке представлены на рисунке 1.

Стоит отметить, что превышение уровней шума при ручной абразивной обработке внутри металлических конструкций выше на 3-5 Дб, чем снаружи, что объясняется возбуждением внутреннего пространства. Превышение значений наблюдается в среднечастотном диапазоне на 3-17 Дб, однако высокие значения превышений наблюдаются в высокочастотном диапазоне и составляют 17-24 Дб. Это требует теоретической проработки вопроса и разработки предложений инженерных решений обеспечения безопасных условий труда.

Скорости колебаний абразивного инструмента при ручной зачистке сварных соединений. Ручную обработку абразивным инструментом рассматривается как система «человек-машина-среда», так как рабочий играет важную роль в данном процессе. Несмотря на многообразие конструктивных исполнений в качестве акустических

моделей следует принять круглую пластину, закрепленную в центре, для шлифовального круга и линейный источник для элементов рамных конструкций.

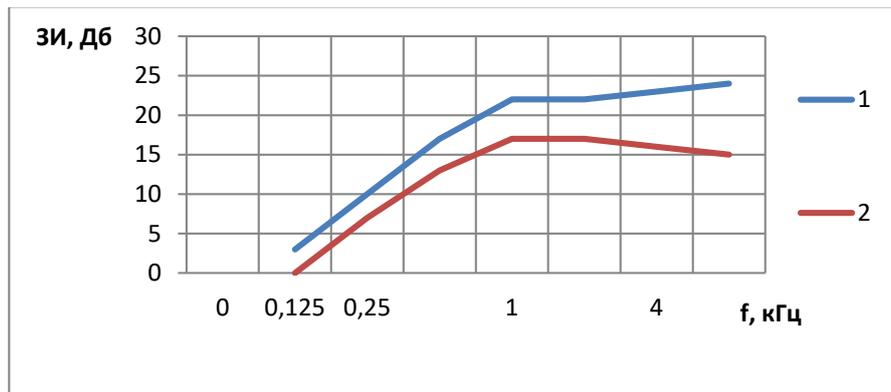


Рис. 1. Превышение уровней шума над предельно-допустимыми значениями при ручной абразивной обработке 1 – внутри металлических конструкций, 2 – снаружи

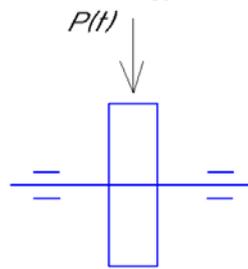


Рис. 2. Расположение абразивного инструмента относительно опор

Принимая во внимание, что абразивный инструмент расположен достаточно близко относительно опор оправки и симметрично относительно опор. (рис. 2). В этом случае амплитуда смещения определяется как

$$y = \sum_{k=1}^k y_k(x) \varepsilon_k(t) \quad (1)$$

Здесь $y_k(x)$ – прогиб при k -ом нормальном колебании, а $\varepsilon_k(t)$ – функция времени, определяемая из уравнения

$$\ddot{\varepsilon}(t) + P^2 \varepsilon_k(t) = \frac{P_0 l^3}{96 E J} P_k^2 \sin(K_c f_B t + \varphi) \quad (2)$$

где P – сила, Н; φ – фактор направленности источника; K_c – коэффициент зернистости; f_B – собственные частоты колебаний, с-1; t – глубина шлифования, мм; l – длина источника, м; E – модуль упругости изделия, Па; J – момент инерции, м⁴; $y_k(x)$.

Для абразивного круга частоты колебаний определяются по формуле

$$P_k = 0,8 \frac{k D^3 v_k}{r} \sqrt{\frac{E}{M}} \quad (3)$$

Здесь D – диаметр абразивного инструмента, мм; M – масса, кг.; v_k – скорость колебаний, м/с; k – коэффициент, определяющий собственные частоты колебаний круга; r – расстояние от источника шума до расчетной точки, м.

Тогда решение уравнения получено в следующем виде

$$v_k = 0,2 P l^3 D^2 K_c f_B \sum_{k=1}^k \frac{k^2 \cos(K_c f_B t + \varphi)}{D^6 k^2 E - 1,6 M (K_c f_B)^2} \quad (4)$$

Представляя модуль Юнга абразивного инструмента в комплексной форме и производя аналогичные преобразования, получено выражение максимального значения действительной части скорости колебаний

$$R_l \{v_{kmax}\} = 0,2 P l^3 D^2 K_c f_B \sum_{k=1}^k \frac{k^2 [k^2 D^6 E - 1,6 M (K_c f_B)^2]}{[D^6 k^2 E - 1,6 M (K_c f_B)^2]^2 + D^{12} k^4 (E \eta)^2} \quad (5)$$

где η – коэффициент потерь колебательной энергии.

Тогда уравнение звукового давления и звуковой мощности определяются следующими зависимостями

$$L_p = 20 \lg P K_c f_B + 60 \lg l + 40 \lg D + 20 \lg \sum \frac{k^3 [k^2 D^6 E - 1,6 M (K_c f_B)^2]}{[D^6 k^2 E - 1,6 M (K_c f_B)^2]^2 + D^{12} k^4 (E \eta)^2} - 20 \lg r + 78 \quad (6)$$

$$L_w = 20 \lg P K_c f_B + 60 \lg l + 100 \lg D + 20 \lg \sum \frac{k^3 [k^2 D^6 E - 1,6 M (K_c f_B)^2]}{[D^6 k^2 E - 1,6 M (K_c f_B)^2]^2 + D^{12} k^4 (E \eta)^2} + 100 \quad (7)$$

Для элементов рамных конструкций

$$L = 20 \lg B - 20 \lg r + 10 \lg f_k + 5 \lg F(z) + 119 \quad (8)$$

где f_k – собственные частоты колебаний источника шума, Гц; $B = \int_0^l v_k(z) \exp(-i k_0 z \cos \beta) dz$ – функция, определяющая распределение скоростей колебаний по длине источника шума; $F(z)$ – площадь поперечного сечения источника, м²; k_0 – волновое число, 1/м; β – угол излучения.

Как видно из полученных зависимостей, инженерный расчет уровней звукового давления сводится к определению скорости колебаний изделия на собственных частотах. При этом различия в подходе моделирования скоростей колебаний будет заключаться в направлении движения шлифовального круга по координатам (вдоль и поперек элемента рамы).

Предложения по снижению уровней шума при ручной абразивной обработке. Снижение шума и вибрации на рабочих местах при ручной абразивной обработке металлических конструкций возможно путем вибропоглощения самой детали с помощью нанесения на излучаемую поверхность вибродемпфирующие покрытия. Использование покрытий позволяет обеспечить выполнение санитарных норм шума за счет уменьшения площади звук излучаемой поверхности и эффекта вибропоглощения.

В данном случае скорость колебания определяется по формуле:

$$v_k = \sqrt{\frac{q}{\frac{1}{2}\pi\eta f \rho h S}} \quad (9)$$

где q – потоки вибрационной мощности в элементах конструкции, Вт/м; η – коэффициент вибропоглощения; f – собственные частоты колебаний, с-1, для стали $\eta = 10^{-4}$; ρ – плотность материала заготовки кг/м³; h – толщина, м; S – площади элементов конструкции, м².

Коэффициент потерь с вибродемпфирующим покрытием:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{E_i h_i^3 \eta_i}{1 - \mu_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{E_i h_i^3}{1 - \mu_i^2}} \quad (10)$$

где E – модуль упругости изделия, Па; μ – коэффициент Пуансона.

В работах профессора Асминина В.Ф. предлагается использование съемных вибродемпфирующих покрытий (СВП) с магнитной фиксацией представленные на рисунке 3. Преимущество данного способа заключается в ее гибкости и эластичности при этом покрытие обладает стабильными свойствами постовых магнитов. Также материал способен выдерживать высокие температурные нагрузки.

Для оценки потенциального снижения уровня звукового давления, обеспечиваемого вибродемпфирующим покрытием на определенной частоте вибрации пластины используют известную формулу:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{\eta_{\Sigma}}{\eta_i} \quad (11)$$

где η_i – коэффициент потерь вибрирующей пластины без вибродемпфирующего покрытия; η_{Σ} – коэффициент потерь вибрирующей пластины с вибродемпфирующим покрытием.

Помимо собственных демпфирующих свойств покрытий акустическая эффективность от их применения зависит от отношения толщин покрытия h_2 и пластины h_1 , и отношения площадей покрытия S_2 и пластины S_1 .

С учетом соотношения и вводя обозначение S_1/S_2 выражение преобразуется в окончательный вид:

$$\Delta L = 20 \lg \left(\frac{\eta_{\Sigma}}{\eta_i} \beta \right) \quad (12)$$

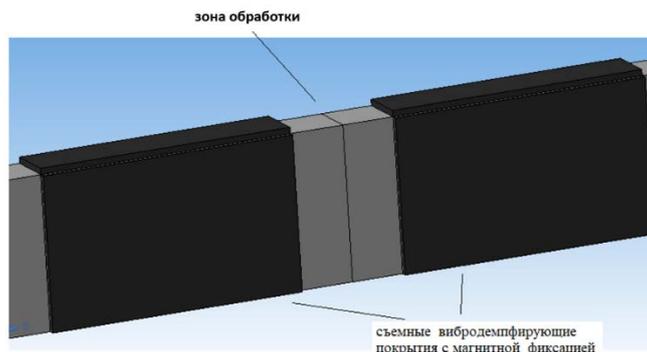


Рис. 3. Съемные вибродемпфирующие покрытия

Сравнение эффективности вибропоглощающих покрытий представлены на рисунке 4.

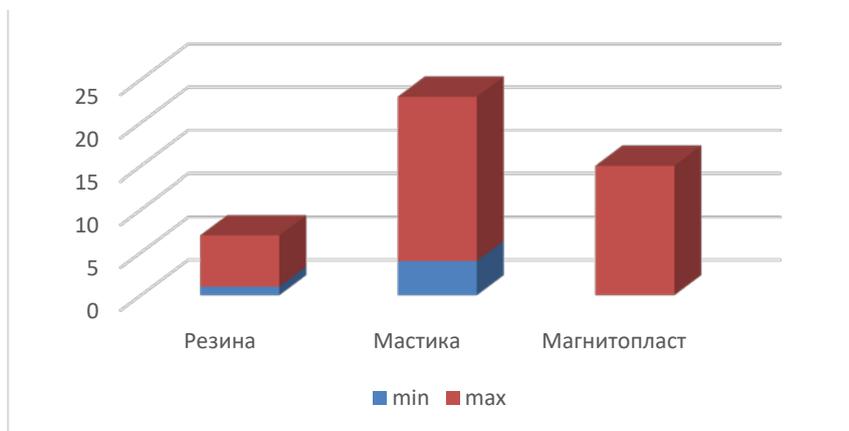


Рис. 4. Эффективность вибропоглощающих покрытий

В представленной диаграмме представлены расчетные значения снижения шума при использовании вибропоглощающих покрытий различных марок. Как видно при нанесении покрытий возможно достижение санитарных условий труда.

Список литературы

1. Beskopylny A., Meskhi B., Chukarin A., Isaev A. Spectral characteristics of noise during hardening of welds of rod structures // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Collection of materials of the International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2019). Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Crimean Federal University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. 2020. С. 044087.
2. Чукарин А.Н., Бескопильный А.Н., Исаев А.Г. Исследования виброакустических характеристик в рабочей зоне оператора при абразивной обработке сварных швов // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 11. — С. 7-12. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-11-7-12.
3. Чукарин А.Н., Исаев А.Г., Шашурин А.Е., Элькин Ю.И. Теоретические исследования процессов возбуждения вибраций и шумообразования при абразивной обработке сварных швов рамных конструкций / NOISE THEORY AND PRACTICE 2020. № 4 (22). С. 71-80.
4. Иванов Н. И. Основы виброакустики // Н. И. Иванов, А. С. Никифоров. — Санкт-Петербург. - Политехника, 2000. — 482 с.
5. Экспериментальные исследования шума и вибрации при местном упрочнении деталей шарикостержневым упрочнителем / Морозов С.А., Чукарин А.Н., Финоченко Т.А. // Мониторинг. Наука и технологии. 2019. № 1 (39). С. 65-69.
6. Чукарин, А. Н. Обеспечение комфортных условий труда при виброударной отделочной обработке фасонных деталей за счет снижения вибраций и шума / А. Н. Чукарин, Л. М. Щерба // Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении : сб. ст. по мат-лам Всерос. науч.-техн. конф. — Нижний Новгород; Арзамас, 2002. — С. 352–355.
7. Морз Ф. Колебания и звук. М. - Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949. - 497 с.

Исаев Александр Геннадьевич, канд. техн. наук, докторант, isaev278@mail.ru, Россия, Ростов-на-Дону, Донской государственный технический университет

PROCESSES OF EXCITATION OF VIBRATION AND NOISE DURING MANUAL ABRASIVE TREATMENT OF WELDED JOINTS

A.G. Isaev

Ensuring blade-free working conditions during the implementation of technological operations is an important and urgent task in modern production. One of the most popular technological operations is welding and abrasive treatment, which is a mandatory stage after the welding work is completed. However, the processing process is accompanied by increased noise emission, which is confirmed in various sources. Exceeding the maximum permissible noise levels leads to a decrease in productivity and labor efficiency. This article discusses theoretical issues related to the formation of noise and vibration during manual processing. In most cases, it is necessary to perform manual abrasive treatment, and in this case, it is quite difficult to ensure compliance with sanitary noise standards. The oscillation rates of the abrasive tool during manual stripping of welded joints are obtained. The methods of ensuring blade-free working conditions in the work area are presented.

Key words: abrasive treatment, sound pressure levels, noise spectra, welded joint, frame structures, rod structure.

Isaev Alexander Gennadievich, candidate of technical sciences, doctoral student, isaev278@mail.ru, Russia, Rostov-on-Don, Don State Technical University

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Е.В. Ляпунцова

Рассмотрено различие в использовании методов искусственного интеллекта для управления качеством продукции. С учетом существующих методов и моделей нейронных сетей (НС): Сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN) и Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Networks, RNN) представлена и выполнена классификация некоторых типов нейронных сетей для управления и поиска дефектов при производстве продукции. Проведение анализа и исследования значимых архитектур нейронных сетей предлагается пошаговый алгоритм формирования и применение методики использования. Представлены исследования парадигмы и описания структур нейронных сетей, описаны особенности их применения в машиностроении и приборостроении. Предложено шаблон, который возможно использовать при построении систем управления качеством продукции в производственном процессе, планировании операционного цикла, создании систем диагностики и контроля качества продукции.

Ключевые слова: качество продукции, нейронная сеть, архитектура и модели нейронной сети.

Введение. Важность развития и применения нейронных сетей в машиностроении и приборостроении заключается в их способности эффективно обрабатывать большие объемы данных и извлекать полезную информацию из них. Нейронные сети могут быть применены для определения качества продукции в данных областях, что является важным этапом в процессе производстве.

Для определения качества продукции в машиностроении можно использовать различные типы нейронных сетей, в зависимости от конкретной задачи и доступных данных.

Такие возможные комбинированные подходы, например, использование гибридных моделей включающих в себя сверточные и рекуррентные слои для анализа как изображений, так и временных данных.

Использование нейронных сетей в машиностроительной отрасли позволит оптимизировать и прогнозировать производственные процессы, создать системы диагностики и контроля качества машиностроительной продукции. Такие области, как разработка интеллектуальных тренажеров с использованием нейронных сетей, технологических справочников, информационно-консультационных систем, систем накопления опыта, остаются недостаточно хорошо изученными, однако применение нейронных сетей в этих областях перспективно [1].

Целью работы - определить какую наиболее подходящую нейронную сеть применить для конкретной задачи. Также требуется проводить исследования и выбора типа нейронной сети, анализа доступных данных, постановки задачи в каждом конкретном случае и проведение экспериментов с различными моделями, чтобы провести выбор лучшей и эффективной модели. Именно этим вопросам и посвящена данная статья. Реализованы исследования и проведен анализ различных типов нейронных сетей для достижения поставленной цели и решения задач в области управления качеством продукции в машиностроении. Проведен сравнительный анализ некоторых методов и подходов как в машиностроении, так и приборостроении для выявления закономерностей и формирование на основе исследований рекомендаций в разработке шаблонов для дальнейшего применения в данной сфере для масштабирования и тиражирования с учетом конкретных метрик, характеристик и значений реальных величин на конкретном производстве.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения. Процесс производства продукции – это последовательность операций и действий, которые выполняются для создания конечного продукта. Он включает в себе различные этапы, такие как сбор и подготовка материалов, обработка, сборка, тестирование и упаковка. Специфические требования к качеству продукции зависят от отрасли и типа продукции. Это могут быть требования к прочности, долговечности, безопасности, эффективности, которым должна соответствовать продукция. В контексте использования искусственного интеллекта и нейронных сетей для управления качеством продукции, можно разработать модели, которые будут анализировать данные о процессе производства и характеристиках продукции, чтобы определить ее качество. Нейронные сети могут обучаться на основе исторических данных о качестве продукции, чтобы предсказывать и классифицировать новые образцы. Это позволяет автоматизировать процесс контроля качества и выявлять дефекты или отклонения от требований.

Стандарты и нормативы продукции – это установленные правила, требования и спецификации, которым должна соответствовать продукция, чтобы быть признанной качественной и безопасной. Они определяют минимальные требования к характеристикам, свойствам, процессам производства, упаковке и маркировке продукции. Стандарты и нормативы могут быть разработаны государственными органами, международными организациями или отраслевыми ассоциациями. Их соблюдение позволяет обеспечить единый уровень качества продукции и упростить ее сравнение и обмен между различными странами и организациями. В области машиностроения существуют множество стандартов и нормативов, которые определяют требования к качеству и безопасности различных изделий и компонентов.

Машиностроение и приборостроение являются двумя отраслями техники, связанными с проектированием и производством различных устройств и оборудования.

Машиностроение фокусируется на разработке, проектировании и производстве машин, механизмов и оборудования, которые используются для выполнения различных задач. Примерами машин могут быть автомобили, самолеты, станки, грузоподъемные краны и многие другие. Основные направления в машиностроении включают конструирование, механику, автоматизацию и робототехнику.

Приборостроение, с другой стороны, фокусируется на разработке и производстве различных приборов, инструментов и устройств, которые используются для измерения, контроля и регулирования различных параметров. Примерами приборов могут быть датчики, измерительные приборы, медицинская аппаратура и другое. Основные направления в приборостроении включают электронику, оптику, измерительные технологии и автоматизацию.

Таким образом, машиностроение и приборостроение имеют схожие цели и методы, но различаются в своей специфике и фокусе на конкретные виды устройств и оборудования.

Нейронная сеть (НС) – это алгоритм машинного обучения, который моделирует работу нервной системы человека. Сеть состоит из множества искусственных нейронов, которые взаимодействуют друг с другом и обрабатывают входные данные для получения нужного результата. НС способна обучаться на основе большого количества данных и находить сложные зависимости между входными и выходными значениями. Это позволяет использовать НС для решения различных задач, включая определение качества продукции.

Обработка всех данных, производимая нейросетью, позволяет более точно визуализировать дефекты и в автоматическом режиме принять решение о годности или не годности детали. Использование подобных систем на предприятии позволяет уменьшить количество ошибок и максимально повысить качество продукции с помощью компьютерного зрения, обработки большого массива данных и обоснованных отчетов об ошибках или дефектах. В зарубежных исследованиях похожих систем, приведенных в источниках, на ранней стадии разработки, во время тестирования, искусственный интеллект в области контроля качества сократил время проверки на 80 процентов, а количество ошибок в производстве сократилось на 7–10 процентов [2, 3].

Исследование и выбор нейронной сети для определения качества продукции в машиностроении является важной задачей. Для анализа и рекомендации необходимо проделать несколько шагов, которые стоит предпринять для выполнения этой задачи, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Алгоритм выбора нейронной сети (НС)

Этапы выбора нейронной сети (НС)	Описание и пояснение выбора НС	
	Шаги выбора модели НС	Примеры и метрики НС
Сбор и подготовка данных	Данные о качестве продукции в машиностроении: сбор, обработка, подготовка к обучению НС	Параметры процесса конкретного производства, Метрики и параметры оценки качества Производственного процесса выпуска продукции.
Выбор архитектуры нейронной сети (НС)	Выбор архитектуры зависит от характеристик данных и требований к модели.	Виды и архитектуры НС: - сверточные НС (CNN), - рекуррентные НС (RNN), - глубокие НС (DNN).
Обучение и настройка модели НС	Обучение на подготовленных данных (dataset), при использовании на обучающей выборке. Важный этап при выборе архитектуры НС.	Разделение данных на обучающую, проверочную и тестовую выборки; настройка гиперпараметров модели. Проверка на проверочной выборке для оценки ее производительности и настройки параметров модели.
Оценка и тестирование модели НС	После обучения модели НС необходимо оценить ее производительность на тестовой выборке, чтобы понять, готова модель определять качество продукции.	Применяются различные метрики для оценки производительности модели НС: - точность (accuracy); - полнота (recall); - точность (precision); - F-метрика (F1-score).
Доработка и улучшение модели НС	Если модель не достигает требуемой производительности, необходимо провести этап улучшения путем изменения архитектуры.	Подбор других методов обучения НС: аугментация или регуляризация. Добавление или удаление слоев НС, изменения гиперпараметров.

Важно отметить, что выбор и настройка нейронной сети для определения качества продукции в машиностроении может быть сложной задачей, требующей экспертизы в области машинного обучения и знания специфики данных. После исследования данной тематики, приходим к выводу, что рекомендуется провести дополнительные исследования и консультации со специалистами в области, чтобы получить наилучшие результаты.

Итак, необходимо отметить, что человеческий фактор и опыт эксперта, необходим при разработке и реализации, анализе и внедрения умных технологий, такие как искусственный интеллект и нейронные сети, в производственный процесс.

Задача данного исследования состоит в том, чтобы провести анализ большого разнообразия существующих архитектур нейронных сетей, чтобы дать рекомендации специалистам в области машиностроения и приборостроения по выбору и применения нейронных сетей. Предложить алгоритм выбора модели НС и составить шаблон для дальнейшего применения в конкретном реальном производственном процессе при выпуске продукции. Стоит отметить, что данный актуальный вопрос о применении искусственного интеллекта в различных сферах деятельности для развития экономики активно и на профессиональном уровне обсуждается несколько лет, а с 2019 года приняты значимые решения, что подтверждает существующий Указ о развитии искусственного интеллекта и другие значимые постановления [4, 5].

Еще один аспект, о котором необходимо уточнить, особенно в тот момент, когда создаются методики и алгоритмы для применения умных технологий, парадигмы нейронных сетей и их математических моделей в производстве – это обсуждение существующие проблемы и сформулировать задачи развития искусственного интеллекта в промышленности [6].

Многочисленные нововведения в промышленное производство осуществляется по всему миру для максимальной его модернизации и автоматизации. В связи с преимуществами умных производств происходит их трансформация, применяются смарт-технологии, что расширяют возможности для улучшения работы, для прогнозирования процента отказов оборудования и повышение производительности труда и качества продукции [7].

Результаты. Результатом исследований является разработка алгоритма для автоматизации процесса контроля качества может быть достигнут с помощью использования различных технологий и инструментов. С учетом проведенного исследования предлагается использовать данный пошаговый алгоритм, который позволит помочь в автоматизации процесса контроля качества продукции:

ШАГ 1. Определение критериев качества: Сначала необходимо определить критерии и стандарты, по которым будет проводиться контроль качества. Это может быть основано на требованиях заказчика или отраслевых стандартах.

ШАГ 2. Сбор данных: Необходимо собрать данные о продукции, которые необходимо проверить на соответствие критериям качества. Это может быть информация о размерах, весе, внешнем виде, другие характеристики.

ШАГ 3. Разработка алгоритма проверки качества: С использованием алгоритма машинного обучения и нейронных сетей возможно разработать модель, которая будет автоматически оценивать качество продукции. Как пример, можно обучить модель классифицировать продукцию на основе изображений или других метрик, характеристик данных.

ШАГ 4. Интеграция с производственной линией: Разработанную модель можно интегрировать с производственной линией, чтобы автоматически проверять качество продукции на каждом этапе производства. Это можно включить использование специализированных камер или сенсоров для сбора данных.

ШАГ 5. Анализ результатов: Полученные результаты проверки качества могут быть анализированы и представлены в удобной форме для принятия решений. Это может быть в виде отчетов, графиков, уведомлений о возможных дефектах.

Нейронные сети могут быть использованы для оценки и контроля качества продукции в различных отраслях, включая машиностроение и приборостроение. НС позволяют автоматизировать процесс контроля качества и обеспечить более точные и эффективные результаты. Для использования НС в задаче оценки качества продукции в машиностроении, необходимо выполнить следующие шаги:

- Сбор и подготовка данных;
- Создание и обучение нейронной сети;
- Валидация и тестирование нейронной сети;
- Интеграция в процесс контроля качества;
- Мониторинг и обновление модели.

Как результат исследования рекомендуется применять представленный код для оценки качества продукции с использованием нейронной сети на языке программирования Python (Пример.1.), что может быть являться шаблоном для реализации в дальнейшем конкретных задач:

Пример 1

```
''' python
import numpy as np
import tensorflow as tf

# Загрузка и предварительная обработка данных
X_train, y_train = load_data( 'train_data.csv')
X_test, y_test = load_data( 'test_data.csv')

#Создание модели нейронной сети
model = tf.keras.models.Sequential([
    tf.keras.layers.Dense(64, activation='relu', input_shape=(input_dim,)),
    tf.keras.layers.Dense(64, activation='relu',),
    tf.keras.layers.Dense(1, activation='sigmoid')
])

#Компиляция модели
model.compile(optimizer='adam', loss='binary_crossentropy', metrics=['accuracy'])

#Обучение модели
Model.fit(X_train, y_train, epochs=10, batch_size=32, validation_data=(X_test, y_test))

#Оценка качества модели
Loss, accuracy = model.evaluate(X_test, y_test)
print('Loss:', loss)
print('Accuracy:', accuracy)
'''
```

Представленный Пример.1. может быть использован для конкретной реализации с учетом специфики задачи и включения доступных реальных данных.

Важным аспектом является определение критериев качества, что и есть значимый этап при разработке продукции. Критерии качества представляют собой параметры или характеристики, которые позволяют оценить соответствие продукции требованиям и ожиданиями потребителей. Для определения критериев качества необходимо провести следующие этапы:

- Анализ требований и ожиданий потребителей;
- Учет стандартов и нормативов конкретной отрасли;
- Сбор параметров: надежность, функциональность, эффективность, безопасность, удобство использования и другие;
- Учет возможности и ограничения производственного процесса;
- Баланс между качеством и стоимостью продукции.

Определение критериев качества является основой для разработки системы контроля качества и позволяет обеспечить высокое качество продукции, чтобы удовлетворить потребности и ожидания потребителей и заказчика.

Необходимо также установить критерии измерения и оценки качества, чтобы иметь возможность проводить контроль и анализ соответствия продукции установленным критериям.

С учетом проведенного анализа в статье предлагается следующий обзор современных методов качества продукции включают в себя в широкий спектр подходов и технологий.

- Системы управления качеством (Quality Management System, QMS): Включают в себя методы и процедуры, направленные на обеспечение соответствия продукции и требованиям и стандартам качества. Пример системы – ISO 9001.

- Системы статистического контроля качества (Statistical Quality Control, SQC): Основаны на использовании статистических методов для анализа данных и контроля процесса производства. Включают в себя методы контроля, мониторинга и анализа данных, такие как контрольные карты и анализ причинно-следственных связей.

- Методы шести сигм (Six Sigma): Ориентированы на снижение вариации и дефектов продукции путем применения статистических методов и инструментов улучшения процессов. Этот подход стремится достичь уровня качества, соответствующего 3,4 дефекта на миллион возможностей.

- Методы Lean-производства: Основаны на принципах минимизации потерь и повышения эффективности процесса производства. Включают в себя методы, такие как 5S, управление потоком, JIT (Just-In-Time) и Kaizen (постоянное улучшение).

- Использование технологий Интернета вещей (Internet of Things, IoT) и аналитика данных: Позволяют собирать и анализировать большие объемы данных о процессах производства и качестве продукции в режиме реального времени. Это позволяет оперативно выявлять проблемы и принимать меры по их устранению.

- Применение искусственного интеллекта и машинного обучения: Позволяет автоматизировать процессы контроля качества, предсказывать возможные дефекты и оптимизировать производственные процессы. Нейронные сети и алгоритмы машинного обучения могут быть использованы для анализа данных и прогнозирования качества продукции.

Важно отметить, что с учетом проведенного анализа данный обзор - это лишь некоторые из современных методов качества продукции. Однако, каждая отрасль может иметь свои специфические методы и подходы с учетом специфики и требований.

Для определения качества продукции в машиностроении можно использовать различные типы нейронных сетей. С учетом проведенного анализа в статье представлены основные типы нейронные сети, которые точно стоит применять для управления качеством продукции:

- Сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN) для анализа изображений продукции и визуальных данных для поиска дефектов или несоответствия. CNN обладают способностью автоматически извлекать признаки из изображений и могут быть обучены на размеченных данных для классификации качества продукции.

- Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Networks, RNN) для анализа временных рядов данных, таких как данные с датчиков или измерений процесса производства. Данные сети обладают способностью анализировать последовательные данные. RNN позволяют моделировать зависимости между последовательными данными и могут быть использованы для прогнозирования качества продукции или обнаружения аномалий.

- Глубокие нейронные сети (Deep Neural Networks, DNN): для анализа больших данных, эти сети обладают большой глубиной и сложностью, что позволяет им обрабатывать и анализировать сложные данные. Они могут быть использованы для оценки качества продукции на основе большого объема различных параметров и характеристик.

- Гибридные нейронные сети: Комбинация различных типов нейронных сетей может быть использована для анализа как изображений, так и последовательных данных.

Выбор конкретной нейронной сети зависит от конкретных требований и характеристик задачи определения качества продукции. Необходимо провести исследование и анализ данных, чтобы определить наиболее подходящую архитектуру и тип нейронной сети для данной задачи.

Как вывод следует отметить, что из огромного разнообразия существующих типов нейронных сетей при исследовании выделены описанные выше четыре архитектуры для реализации и определения качества продукции в машиностроении. Представлен пошаговый алгоритм решения задачи выбора нейронной сети. Разработан шаблон кода с применением языка программирования Python.

Очень важно отметить и пояснить понятие производительность нейронных сетей. Для оценки производительности нейронной сети стоит использовать инструменты:

- Время обучения: измеряется время, необходимое для выполнения предсказания на тестовых данных. Чем быстрее нейронная сеть делает предсказания, тем более производительной она считается.

- Время предсказаний: оценивается точность предсказаний нейронной сети на тестовых данных. Чем выше точность, тем лучше производительность нейронные сети.

- Точность предсказаний: оценивается точность предсказаний нейронные с эти на тестовых данных. Чем выше точность, тем лучше производительность нейронные сети.

- Потребление ресурсов: можно измерить потребление памяти и вычислительных ресурсов при работе нейронной сети. Чем меньше ресурсов требуется для работы, тем более производительной считается нейронная сеть.

Заключение. С учетом проведенных исследований и анализа существующих технологий следует сделать вывод, что для проведения исследований по оценке производительности нейронной сети необходимо использовать определенные инструменты и библиотеки, такие как TensorFlow, PyTorch или Keras, профайлы NVIDIA Nsight или PyTorch Profiler для более детального анализа производительности нейронные сети. Эти инструменты предоставляют функции для измерения времени обучения и предсказания, а также позволяют сравнивать точность предсказаний на различных моделях и с определенными параметрами.

Применение искусственного интеллекта и нейронных сетей в области определения качества продукции имеет несколько преимуществ:

- Автоматизация процесса: Использование ИИ позволяет автоматизировать процесс определения качества продукции, что может значительно ускорить и упростить работу.

- Высокая точность: ИИ обучаются на большом объеме данных и могут выявлять даже тонкие отличия в качестве продукции, что позволяет достичь высокой точности в определении качества.

- Универсальность: НС могут быть применены для определения качества в различных отраслях, включая производство, медицину, автомобильную промышленность, машиностроение, приборостроение и другие.

- Сокращение затрат: Использование НС позволяет сократить затраты на ручную проверку качества продукции, что может привести к экономии времени и ресурсов.

Как заключительный вывод после исследования и анализа множества типов и архитектур НС следующий: перед выбором конкретной нейронной сети для определения качества продукции необходимо провести исследование и анализ требований проектов. Критерии выбора могут включать тип данных, доступность обучающих данных, требуемую точность и другие факторы.

Итак, вывод с учетом проведенных исследований следующий: НС могут быть применены для определения качества продукции по нескольким причинам:

1. Обработка больших объемов данных: это позволяет анализировать множество параметров и осуществлять более точную оценку качества продукции.

2. Обнаружение сложных паттернов: это позволяет распознавать сложные и нелинейные паттерны в данных, что может быть полезно для выявления скрытых дефектов или отклонений от стандартов качества.

3. Автоматизация процессов: это позволяет автоматизировать процесс определения качества продукции, что ускоряет его и снижает вероятность человеческой ошибки.

4. Интеграция с другими системами: НС возможно интегрироваться с другими системами управления качеством, что позволяет автоматически принимать решения на основе результатов анализа.

5. Адаптация и обучаемость: НС обучается на основе исторических данных, что позволяет им адаптироваться к изменениям в процессе производства и улучшить свою точность с течением времени.

Список литературы

1. Кузнецова Т.И., Булаев А.В. Нейросетевое моделирование производственных процессов в машиностроительной отрасли. Гуманитарный вестник, 2018. Вып. 11. DOI: 10.18698/2306-8477-2018-11-566.

2. Хатидже Камгоз Акдаг. Тотальное управление качеством посредством обнаружения дефектов в производственных процессах с использованием алгоритмов машинного обучения // Материалы Международного симпозиума по производственным исследованиям 2019 г. 2020. С. 508-516.

3. Сайрус Хосейни, М.Афган Бадар, Кристофер Клузе. Обзор методов машинного обучения, применимых к вопросам качества // Исследование Университета штата Индиана. 2021.

4. Указ Президента Российской Федерации № 490 от 10.10.2019 года. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации. [Электронный ресурс] URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (дата обращения: 17.08.2023).

5. ГОСТ Р 59277—2020. Классификация систем искусственного интеллекта. 2020.

6. Черепанов Н.В., Буслаев С.П. Проблемы и задачи развития искусственного интеллекта на машиностроительном предприятии Инновации и инвестиции. № 7, 2021, С. 175-179.

7. Баурина С.Б. Технология будущего: умные производства в промышленности. Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2020, Том 17, № 2 (110). С7 123-132. DOI: 10.21686/2413-2829-2020-2-123-132.

Ляпунова Елена Вячеславовна, д-р техн. наук, профессор, lev86@bmstu.ru, Россия, Москва, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, SPIN-код: 3500-4160, Scopus Author ID - 6507410840, ORCID -0000-0002-3420-3805, Web of Science Researcher ID: B-2161-2017, Scopus AuthorID: 6507410840

RESEARCH AND SELECTION OF A NEURAL NETWORK FOR DETERMINING PRODUCT QUALITY

E.V. Lyapunsova

The difference in the use of artificial intelligence methods for product quality management is considered. Taking into account the existing methods and models of neural networks (NS): Convolutional Neural Networks (CNN) and Recurrent neural Networks (Recurrent Neural Networks, RNN), the classification of some types of neural networks for controlling and searching for defects in the production of products is presented and performed. Analysis and research of significant architectures of neural networks a step-by-step algorithm for the formation and application of the methodology of use is proposed. Studies of the paradigm and descriptions of neural network structures are presented, the features of their application in mechanical engineering and instrumentation are described. A template is proposed that can be used in the construction of product quality management systems in the production process, the planning of the operational cycle, the creation of diagnostic systems and product quality control.

Key words: product quality, neural network, neural network architecture and models.

Lyapunsova Elena Vyacheslavovna, doctor of technical sciences, professor, lev86@bmstu.ru, Russia, Moscow, Bauman Moscow State Technical University, SPIN code: 3500-4160, Scopus Author ID - 6507410840, ORCID -0000-0002-3420-3805, Web of Science Researcher ID: B-2161-2017, Scopus AuthorID: 6507410840

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

В.Р. Гапонов, Е.В. Ляпунцова

В данной статье рассматриваются актуальные аспекты использования искусственного интеллекта в различных сферах жизни. Авторы анализируют возможности применения ИИ в экономике, включая автоматизацию процессов, прогнозирование и оптимизацию. В контексте государственного управления изучается использование ИИ для повышения эффективности работы административных органов и предоставления услуг населению. Важным разделом статьи является рассмотрение роли ИИ в социальной сфере. Рассмотрены основные возможности применения ИИ для помощи гражданам в решении их личных вопросов. В заключении авторы подчеркивают необходимость дальнейшего изучения возможностей и этических аспектов использования ИИ для устойчивого развития общества.

Ключевые слова: искусственный интеллект, система, данные, продукт.

Введение. В сентября 2023 году премьер-министр Российской Федерации Михаил Мишустин провел стратегическую сессию по развитию искусственного интеллекта. По ее результатам было поручено обновить Национальную стратегию развития искусственного интеллекта до 2030 года. Основным аспектом данной программы было выделено внедрение повсеместного использования таких технологий в отраслях экономики, социальной сфере и сфере государственного управления. Также в своей речи Михаил Мишустин подчеркнул, что сейчас идет борьба между глобальными игроками за лидерство в технологической гонке, и зачастую эта конкуренция ведется нечестными методами. Некоторые страны пытаются закрыть для России доступ к новейшим разработкам, но российские производители смогли подстроиться под эту ситуацию [1].

Чтобы понять, как можно использовать искусственный интеллект сначала необходимо понять, как он работает. Согласно ГОСТ Р 70249-2022 искусственный интеллект (ИИ) – комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение, поиск решений без заранее заданного алгоритма и достижение инсайта) и получать при выполнении конкретных критических практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека [2].

Для успешной работы искусственного интеллекта важным моментом является его обучение. На данной этапе происходит сбор необходимой информации и создание правил. Далее происходит настройка работы алгоритма на основе правил. Самым главным аспектом является самокоррекция, которая позволяет искусственному интеллекту постоянно самосовершенствоваться.

Продукты, созданные с помощью искусственного интеллекта, способствуют повышению эффективности различных секторов экономики и переводят их на более высокий уровень. Они широко используются для анализа данных, составления прогнозов, оптимизации процессов и автоматизации производства. Кроме того, они лежат в основе создания удобных и полезных сервисов для граждан и предприятий. В данной статье будут изучены основные продукты на основе искусственного интеллекта, которые можно применять в разных сферах жизни.

Использование ИИ в экономической сфере. Внедрение продуктов на основе искусственного интеллекта в экономике в данный момент набирает большую популярность. Однако стоит учитывать, что большинство из того, что в данный момент представлено на рынке носит узкоспециализированный характер. Например, в чат-ботах и голосовых помощниках искусственный интеллект помогает значительно улучшить взаимодействие с клиентами, однако порой алгоритмы обучения и настройки этих решений не всегда оптимальны [3]. Но есть и некоторые решения, которые уже сейчас показывают высокую результативность: скоринг клиентов, биометрии и антифрод модели.

Одной из самых известных моделью скоринга клиентов является модель от «Сбера». Она представляет собой решение, которое позволяет одобрять заявки на кредит за 7 минут.

Способ работы заключается в следующем: модель работает с пятью различными источниками. Первый блок данных – это транзакционные данные, которые отражают операции компании и их структуру или физического лица. Второй блок – финансовые показатели, включая балансовые отчеты, отчеты о прибыли и убытках, и т.д. Третий блок – это кредитная история, которая включает в себя информацию о том, как клиенты обслуживали свои обязательства в Сбербанке на протяжении нескольких лет. Четвертый блок – аналитические показатели, которые характеризуют размер бизнеса и качество работы компании по сравнению с конкурентами в той же отрасли. Пятый блок – данные из открытых источников, реестров и внешних агрегаторов. С помощью ИИ, информация из этих пяти блоков взвешивается и группируется, формируя не одно, а целый ряд предложений. Эти предложения представляют собой набор оптимальных вариантов, которые банк может предложить клиенту для выбора с различными суммами, сроками или обеспечением [4].

Помимо просмотра заявок на кредит данная модель может быть ассистентом для менеджера банка. Для просмотра заявок менеджеру необходимо просматривать больше 10 источников и сравнить около 100 параметров. Конечно, это очень трудоемкая работа для обычного человека. Однако ИИ, который выступает в качестве помощника в данном процессе может ускорить его. Модель собирает данные из внутренних и внешних источников внутри компании, производит сравнение с другими метриками, а также уточняет какие детали необходимо уточнить.

Таким образом более 50% сделок оформляется с помощью ИИ целиком, а остальная половина сделок, которые являются более сложными, оформляются человеком. Человек до сих пор играет важную роль в данном процессе, но тратит на это намного меньше сил.

Компания Fuzzy Logic Labs, которая является частью группы компаний «Ростелеком», представила новую платформу для борьбы с мошенничеством под названием «Сессионный Антифрод 2.0». Эта платформа использует технологию искусственного интеллекта для обнаружения попыток хищения средств клиентами банков, участниками программ лояльности онлайн и офлайн магазинов, а также логистических компаний. Платформа может работать как самостоятельно, так и вместе с другими инструментами в рамках комплексного решения для защиты дистанционных каналов обслуживания [5].

Одним из ключевых особенностей «Сессионного Антифрода 2.0» является возможность создания детального поведенческого профиля каждого пользователя. Для этого собирается информация по более чем 100 уникальным параметрам, включая данные об активности пользователя в интернете. Это позволяет системе использовать математическую модель с искусственным интеллектом для обнаружения мошеннической активности в режиме реального времени.

Применение машинного обучения, которое является одним из видов искусственного интеллекта, значительно повышает эффективность выявления и предотвращения мошеннических действий на самых ранних этапах.

Данная система может обнаруживать риски в различных каналах обслуживания клиентов:

1. Дистанционное банковское обслуживание розничного бизнеса;
2. Дистанционное банковское обслуживание корпоративного бизнеса;
3. Мобильный банкинг, СМС-банкинг;
4. Процессинг пластиковых карт (выпуск);
5. Платежные терминалы, эквайринг, интернет-эквайринг;
6. Операции/запросы через IVR (интерактивное голосовое меню) и сотрудников колл-центра;
7. Действия/операции сотрудников банка в офисе;
8. Операции с использованием мессенджеров/чат-бота [6].

На примерах выше видно, что использование ИИ в экономической сфере становится все более актуальным. Однако для дальнейшего развития и внедрения технологий ИИ необходимо продолжать исследования и разработку оптимальных алгоритмов обучения.

Использование ИИ в сфере государственного управления. ИИ в

государственном управлении используется давно и набирает большую популярность. Например, в приложении «Госуслуги» есть голосовой помощник, который построен на основе текстовых моделей с использованием искусственного интеллекта.

В рамках стратегии развития искусственного интеллекта до 2030 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации. Акцент был сделан на повышении качества и эффективности государственного управления, развития социальной сферы, критически зависимых от формирования цифровой экономики [7]. Основные направления развития выглядят следующим образом:

1. Внедрение технологий искусственного интеллекта;
2. Конвергенция сетей связи и переход к сетям нового поколения;
3. Обработка больших объемов данных;
4. Использование защищенных технологий электронной идентификации и аутентификации, в том числе в кредитно-финансовой сфере;
5. Развитие облачных вычислений;
6. Переход к Интернету вещей и промышленному Интернету;
7. Совершенствование робототехники и биотехнологий, радиотехники и отечественной электронной компонентной базы;
8. Обеспечение информационной безопасности.

Чтобы описать насколько внедрение ИИ в государственное управление помогает с решением сложных задач, можно обратиться к следующим технологиям: система ускорения реагирования на природные пожары, система быстрой оцифровки данных для государственных сервисов и система альтернативной оценки численности населения России. Рассмотрим каждый из них поподробнее.

Ежегодно в России регистрируется от 9 до 35 тысяч лесных пожаров, которые охватывают территории от полумиллиона до 3.5 миллионов гектаров. Суммарный ущерб от этих пожаров оценивается примерно в 20 миллиардов рублей.

С помощью системы спутникового мониторинга производится анализ данных о температуре поверхности нашей планеты. На основе этих данных выделяются точки с повышенной температурой. Именно они могут быть потенциальными очагами возгорания. Операторы системы оценивают вероятность возникновения пожара в каждой из представленных системой точек и информируют соответствующие службы.

Для ускорения передачи информации от оператора системы в компетентные органы в данную систему был добавлен ИИ. Модели искусственного интеллекта анализируют термические точки, определяют вероятность пожара и класс горения на этой территории. Данные публикуются на Портале термоточек МЧС и в мобильном приложении.

Система ускорения реагирования на природные пожары была разработана совместно с МЧС России для автоматического информирования о риске возгорания. Данная система представляет собой подробную карту, на которую нанесены все термические аномалии, которые уловили спутники, следящие за территорией России из космоса. Открыв программу, любой пользователь может не только осознать уровень и количество опасностей, которые есть поблизости, но и принять участие в ликвидации разгорающегося пожара [8].

Бизнес-эффект от внедрения данного решения был огромным. Его результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Эффект от внедрения проекта

До внедрения	После внедрения
Часть заявок приходит с ошибками, часть теряет актуальность за 3-4 часа	Данные обо всех термических аномалиях автоматически обновляются 4 раза в сутки
Операторы вручную фильтруют спутниковые данные о термических точках	Информация о новой точке моментально доводится до ответственных лиц через push-уведомления
О высоком риске возгорания операторы сообщают ответственным лицам на местах	Наблюдатель вносит результаты проверки в мобильное приложение
Оператор загружает отчет наблюдателя в основную учетную систему	Информация автоматически дублируется на веб-портале дежурно-диспетчерских служб муниципальных районов

Еще одним важным продуктом на основе ИИ в сфере государственного управления является система быстрой оцифровки данных для государственных сервисов.

В Тамбовской области столкнулись с проблемой того, что необходимо было оцифровать архивы записей актов гражданского состояния за 1929-1999 года. Из-за того, что документ содержали ветхие записи и смазанные печати человеку было тяжело сделать оцифровку. Тогда была использована система «Биорг» на базе ИИ, которая проводила автоматическое распознавание рукописного текста.

Данная платформа объединяет следующие технологии:

1. Конвейер обработки материалов;
2. Проприетарные алгоритмы обработки источников данных;
3. Нестандартные ансамбли специализированных нейросетей;
4. Natural language processing для обработки ошибок и автоматизированной классификации сущностей в базе знаний проекта;
5. Конволюционно-рекуррентные нейронные сети (CNN + RNN [LSTM]) на базе архитектуры Faster-RCNN глубокого обучения на всех этапах обработки входной информации [9].

Результаты работы проекта представлены в таблице 2

Таблица 2

Результат работы проекта с использованием системы «Биорг»

До проекта	После проекта
Огромные массивы данных в бумажном виде, источниками которых служат актовые книги	Досрочно оцифрован 1 млн данных актовых книг
Часть книг велась от руки еще 20-е годы прошлого века, поэтому находится в достаточно ветхом состоянии	Вся информация о населении области передана в единый государственный реестр записей актов гражданского состояния (ЕГР ЗАГС)

За первые две недели проекта было оцифровано порядка 250 тыс. записей. А по оценкам самой компании «Биорг» было сэкономлено порядка 9 млн. рублей.

Использование ИИ в социальной сфере. ИИ в социальной сфере может использоваться для различных целей. Основное из этих направлений – это улучшение обслуживания клиентов. ИИ может использоваться для анализа и обработки запросов, поступающих от пользователей, что позволяет быстро и эффективно решать их проблемы. Например, алгоритмы машинного обучения могут использоваться для определения наиболее популярных тем, на которые пользователи хотят получать информацию, или для определения оптимальных стратегий коммуникации с клиентами.

Также использование искусственного интеллекта может помочь в прогнозировании и предотвращении социальных проблем. Это может включать анализ данных о преступности, бедности, здоровье населения и других показателей. На основе этих данных можно разработать стратегии предотвращения и решения проблем, а также прогнозировать возможные последствия различных политических решений.

Одним из самых ярких использований ИИ в социальной сфере это чат-боты. Они используются почти на всех социальных ресурсах, для помощи в нахождении необходимой информации или ответах на быстрые вопросы.

В своей работе Пенсионный фонд активно использует технологию распознавания и синтеза речи. Были внедрены два направления использования ИИ: обработка обращений граждан с помощью чат-бота и определение пенсионных прав для назначения наиболее подходящей пенсии. Чат-бот облегчает работу операторов и помогает ответить на популярные и важные вопросы о пенсиях и социальной поддержке. Если требуется более подробная информация, чат-бот переключает диалог на сотрудника единого контактного центра, позволяя виртуальному помощнику эффективно обрабатывать до 15-20% входящих обращений.

Также важной системой с использованием ИИ в социальной сфере является «Единая государственная информационная система социального обеспечения» (ЕГИССО). ЕГИССО – это информационная система, которая предоставляет гражданам и государственным органам актуальную информацию о социальных мерах поддержки, финансируемых из бюджетов всех уровней. Система позволяет получить сведения о социальной помощи, как для конкретного человека, так и для страны в целом. Это помогает органам власти предоставлять социальную помощь и снижает физические и временные затраты граждан при получении поддержки. Также система предназначена для применения принципов адресности и критериев нуждаемости в предоставлении социальной помощи. Кроме того, система позволяет проводить анализ интересующих показателей в области социальной поддержки граждан и прогнозировать бюджетные расходы на выполнение социальных обязательств государства [10].

При создании платформы «Единая государственная информационная система социального обеспечения» искусственный интеллект был обучен быстрому реагированию и адаптации к изменениям в законодательстве. Например, сервис «Социальный калькулятор», который предоставляет пользователям полную информацию о возможных социальных выплатах на основе их ответов на вопросы.

Данная система выполняет задачи повышения качества планирования затрат, разгрузку органов исполнительной власти от непрофильной деятельности и избыточных функций, исключение дублирования данных, повышение эффективности расходования бюджетных средств.

Основные принципы работы ЕГИССО включают:

1. Использование системы электронного межведомственного взаимодействия;
2. Обеспечение полноты, достоверности, актуальности и целостности информации, получаемой через систему;
3. Предотвращение дублирования ввода информации и обеспечение возможности ее многократного использования;
4. Открытость системы для интеграции с другими государственными и негосударственными информационными ресурсами и системам на основе единых стандартов информационного взаимодействия;
5. Централизованный сбор и бесплатное предоставление информации через систему для всех пользователей в зависимости от их прав доступа;

6. Модульное построение, адаптируемость и модифицируемость системы.

Таким образом можно сделать вывод, что в настоящее время в Российской Федерации активно развивается сфера ИИ. А сферы применения новых технологий абсолютно разные, начиная от экономики и заканчивая государственным управлением. Очень важно продолжать развивать данную сферу, учить новые кадры, которые будут готовы работать с новыми вызовами, которые перед ними будут. Однако не стоит забывать, что ИИ – это не только разработка программного обеспечения, но и этический аспект. Например, персональные данные, обучения его тому, что такое хорошо, а что такое плохо. Об этом также не стоит забывать при развитии данной технологии.

Список литературы

1. Михаил Мишустин провёл стратегическую сессию «Развитие искусственного интеллекта» // Правительство России [Электронный ресурс] URL: <http://government.ru/news/49604> (дата обращения: 15.02.2024).
2. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 70249-2022 // Гарант. 2022. 5 октября. [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/405607111> (дата обращения: 15.02.2024).
3. Искусственный интеллект в финансах: как банки используют нейросети // РКБ [Электронный ресурс] URL: <https://trends.rbc.ru/trends/amp/news/61e924349a7947761b46f2d8> (дата обращения: 16.02.2024).
4. Семь минут на решение: как ИИ выдает кредиты бизнесу в «Сбере» // Forbes [Электронный ресурс] URL: <https://www.forbes.ru/brandvoice/451165-sem-minut-na-resenie-kak-ii-vydaet-kredity-biznesu-v-sbere> (дата обращения: 16.02.2024).
5. «Фаззи Лоджик Лабс» вывел на рынок новый программный продукт на основе ИИ // Ростелеком [Электронный ресурс] URL: <https://www.company.rt.ru/press/news/d468690> (дата обращения: 16.02.2024).
6. О продукте // FUZZY LOGIC LABS [Электронный ресурс] URL: <https://www.fzlabs.ru/en/about-the-product> (дата обращения: 17.02.2024).
7. Косоруков А.А Технологии искусственного интеллекта в современном государственном управлении // Социодинамика. 2019. №5. С. 43-58.
8. Ускорение реагирования на природные пожары // AI Russia [Электронный ресурс] URL: <https://ai-russia.ru/library/mchs> (дата обращения: 20.02.2024).
9. Быстрая оцифровка данных для государственных сервисов // AI Russia [Электронный ресурс] URL: <https://ai-russia.ru/library/zags-beorg-smart-vision> (дата обращения: 20.02.2024).
10. О сервисе // ЕГИССО [Электронный ресурс] URL: <http://egisso.ru/#/pages/about> (дата обращения: 21.02.2024).

Гапонов Владислав Родионович, магистрант, g.vlad6005@yandex.ru, Россия, Москва, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,

Ляпунцева Елена Вячеславовна, д-р техн. наук, профессор, lev86@bmstu.ru, Россия, Москва, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE MODERN WORLD

V.R. Gaponov, E.V. Lyapunsova

This article discusses the current aspects of the use of artificial intelligence in various spheres of life. The authors analyze the possibilities of using AI in economics, including process automation, forecasting and optimization. In the context of public administration, the use of AI is being studied to improve the efficiency of administrative bodies and the provision of services to the public. An important section of the article is the consideration of the role of AI in the social sphere. The main possibilities of using AI to help citizens solve their personal issues are considered. In conclusion, the authors emphasize the need to further explore the possibilities and ethical aspects of using AI for the sustainable development of society.

Key words: artificial intelligence, system, data, product.

Gaponov Vladislav Rodionovich, master's, g.vlad6005@yandex.ru, Russia, Moscow, Bauman Moscow State Technical University,

Lyapunsova Elena Vyacheslavovna, doctor of technical sciences, professor, lev86@bmstu.ru, Russia, Moscow, Bauman Moscow State Technical University

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СОСТОЯНИЙ И ВРЕМЕНИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОЕВОГО ОХРАНЕНИЯ АВТОКОЛОННЫ ПРИ НАПАДЕНИИ ДИВЕРСИОННО-РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОЙ ГРУППЫ

С.Н. Курков, М.С. Воротилин, Д.В. Моргунов, В.М. Чайковский

Предложена марковская модель определения вероятностей состояний боевого охранения (БО) автоколонны в условиях нападения диверсионно-разведывательной группы (ДРГ), которая позволяет получить аналитические выражения расчета рассматриваемых состояний БО. Получена зависимость для определения оптимального времени стрельбы БО, которое может найти применение при обосновании технических характеристик образцов вооружения.

Ключевые слова: автоколонна, боевое охранение, диверсионно-разведывательная группа, математическое ожидание (МОЖ), среднее квадратическое отклонение (СКО), плотность вероятности перехода БО из i -го в j -е состояние.

Решение задачи определения вероятностей состояний БО автоколонны в условиях противодействия противнику она должна рассчитываться в зависимости от характеристик функционирования БО и нападающей ДРГ, определение вероятностей рассматриваемых состояний имеет и самостоятельное значение.

Будем считать, что функционирование БО представляет собой случайный процесс и включает следующие состояния: ведение стрельбы БО (в течение времени t_c), нахождение БО под обстрелом ДРГ (переход через время t^* от начала обстрела в подавленное состояние и нахождение в нем в течение времени τ), перемещение БО на новую позицию (в течение времени $t_{\text{зв}}$, восстановление боеспособности и ожидание новой огневой задачи (в течение времени t). Затем цикл функционирования может повторяться.

Примем, что БО может быть обнаружено средствами разведки ДРГ только с момента открытия огня (за время t); стрельба по ней начинается через время t после обнаружения. Таким образом, возможны следующие состояния БО:

I. БО обстреливается ДРГ, т.е. $t_p + t_n < t_c$. В этом случае время обстрела

$$t_c = t_o - (t_p + t_n).$$

II. БО не обстреливается ДРГ, т.е.

а) $t_p \leq t_{\xi} < t_p + t_n$ либо б) $t_c < t_p$

Полная группа состояний БО за время цикла функционирования включает:

1. Состояние S_1 - нахождение БО в неразведанном положении. Из этого состояния БО может перейти либо в состояние S_2 (при $t_p - t_c < 0$), либо в состояние S_5 (при $t_p - t_c \geq 0$).

2. Состояние S_2 - нахождение БО в разведанном положении, в которое оно может перейти из состояния S_1 , если $t_p - t_c < 0$. Из этого состояния БО переходит либо в состояние S_3 (при $t_p + t_n < t_c$), либо в состояние S_5 (при $t_p + t_n \geq t_c$).

3. Состояние S_3 - нахождение БО под огнем противника, в которое переходит из состояния S_2 в случае, если $t_p + t_n \leq t_c$. Находясь в состоянии S_3 БО подвергается обстрелу в течение времени $t_o - t_c - (t_p + t_n)$. Если при этом $t_o \geq t^*$, то БО переходит в состояние S_4 . В противном случае ($t_o < t^*$) оно переходит в состояние S_5 .

4. Состояние S_4 - БО подавлено на время τ_o (если $t_o \geq t^*$). Из данного состояния через время τ_o осуществляется переход в БО состоянии S_5 .

5. Состояние S_5 - БО боеспособно и осуществляет подготовку к выполнению следующей задачи. В это состояние БО попадает из всех перечисленных выше состояний при указанных в пунктах 1–4 условиях, а из него БО переходит в состояние S_1 через время $t_{\text{дв}} + t_{\text{ож}}$.

Перечисленные состояния БО автоколонны при нападении ДРГ иллюстрирует граф, приведенный на рис. 1.

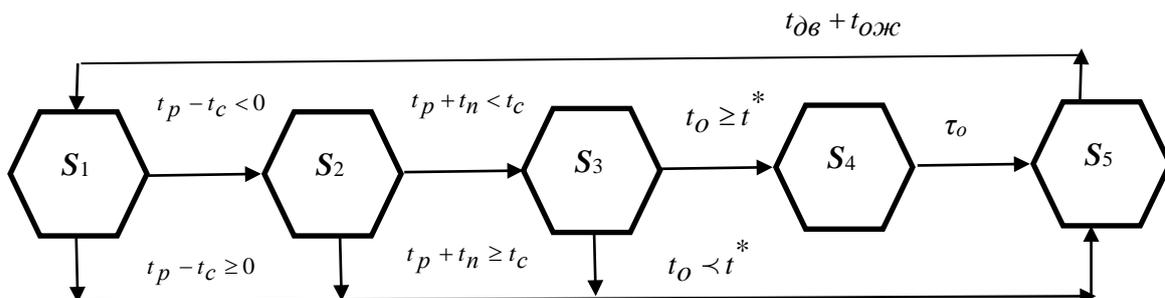


Рис. 1. Граф состояний БО автоколонны при нападении ДРГ

Боевое охранение функционирует не изолированно, а внутри сложного войскового организма – группировки войск автоколонны, являясь, наряду с другими такими же подразделениями, его элементом. Взаимодействие элементов в ходе боевых действий между собой и с элементами ДРГ позволяет, выделив из массы подразделений произвольным образом одно, рассматривать процесс его функционирования как случайный. Поскольку в таких условиях времени обнаружения, подготовки, ведения стрельбы, движения и ожидания являются случайными, то событие нахождения БО в каждом из состояний носит вероятностный характер. При этом потоки событий, переводящие БО в каждое из состояний, могут быть приняты простейшими, т.е. законы распределения всех составляющих времени цикла функционирования являются показательными.

Рассматривая исследуемый процесс как непрерывный Марковский, для описания изменения вероятностей, указанных выше состояний могут быть использованы уравнения Колмогорова [1, 3] в виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= -(\lambda_{12} + \lambda_{15})P_1 + \lambda_{51}P_5; & \frac{dP_2}{dt} &= \lambda_{12}P_1 - (\lambda_{23} + \lambda_{25})P_2; \\ \frac{dP_3}{dt} &= \lambda_{23}P_2 - (\lambda_{34} + \lambda_{35})P_3; & \frac{dP_4}{dt} &= \lambda_{34}P_3 - \lambda_{45}P_4; \\ \frac{dP_5}{dt} &= \lambda_{15}P_1 + \lambda_{25}P_2 + \lambda_{35}P_3 + \lambda_{45}P_4 - \lambda_{51}P_5; \\ \sum_{i=1}^5 P_i &= 1, \text{ при } t = 0; P_i = 1; i = 2, 3, 4, 5, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где P_i – вероятность нахождения БО в i -м состоянии; λ_{ij} – плотность вероятности перехода БО из i -го в j -е состояние.

В свою очередь, плотность вероятности перехода БО из i -го в j -е состояние находится по формуле

$$\lambda_{ij} = \tilde{\lambda}_{ij} p_{ij}, \quad (2)$$

где $\tilde{\lambda}_{ij}$ – интенсивность перехода и вероятность перехода БО из i -го в j -е состояние соответственно.

Учитывая взаимосвязь состояний БО и допущение о показательных законах распределения составляющих времени цикла, легко определить величины $\tilde{\lambda}_{ij}$, а именно:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\lambda}_{12} &= \frac{1}{\bar{t}_p}; & \tilde{\lambda}_{15}^* &= \frac{1}{\bar{t}_c}; & \tilde{\lambda}_{23}^* &= \frac{1}{\bar{t}_p + \bar{t}_n}; & \tilde{\lambda}_{25} &= \frac{1}{\bar{t}_o}; \\ \tilde{\lambda}_{34} &= \frac{1}{\bar{t}^*}; & \tilde{\lambda}_{35} &= \frac{(\bar{t}_p + \bar{t}_c)(\bar{t}_n + \bar{t}_k)}{\bar{t}_c^3}; & \tilde{\lambda}_{45} &= \frac{1}{\bar{t}_o} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В формулах (3) черта над переменными означает математическое ожидание (МОЖ) соответствующих случайных величин: \bar{t}_p – МОЖ времени разведки БО ДРГ; \bar{t}_n – МОЖ времени подготовки БО к стрельбе; \bar{t}_c – МОЖ времени стрельбы БО; \bar{t}_o – МОЖ времени подавления БО (восстановления); \bar{t}^* – МОЖ времени нахождения БО по обстрелом ДРГ; \bar{t}_k – МОЖ времени огневого воздействия ДРГ.

Вероятности перехода P_{ij} вычисляются аналитически. Например, для P_{12} имеем:

$$P_{12} = \text{Вер}(t_p < t_c) = \int_0^{\infty} f(t_c) F(t_p / t_c) dt_c = \int_0^{\infty} \frac{1}{\bar{t}_c} e^{-\frac{1}{\bar{t}_c} t_c} \left(1 - e^{-\frac{1}{\bar{t}_n} t_c} \right) dt_c = \frac{\bar{t}_c}{\bar{t}_p + \bar{t}_c} \quad (4)$$

Учитывая, что $P_{15} = 1 - \text{Вер}(t_p \geq t_c)$, находим

$$P_{15} = 1 - \text{Вер}(t_p \geq t_c) = 1 - P_{12} = \frac{\bar{t}_o}{\bar{t}_p + \bar{t}_c}. \quad (5)$$

Аналогичным образом определяем

$$\left. \begin{aligned} P_{23} &= \text{Вер}(t_p + t_n < t_c) = \frac{\bar{t}_c^2}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)}; & P_{25} &= 1 - P_{23} = 1 - \frac{\bar{t}_c^2}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)}; \\ P_{35} &= \text{Вер}(t_o < t^*) = 1 - \frac{\bar{t}_c^3}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_c + \bar{t}^*)}; & P_{34} &= 1 - P_{35} = \frac{\bar{t}_c^3}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_c + \bar{t}^*)}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Заметим, что из-за однозначности переходов $4 \rightarrow 5$; $5 \rightarrow 1$ имеем

$$P_{45} = P_{51} = 1. \quad (7)$$

Решим СОДУ (1) для стационарного режима ($P_i = 0, i = 1, 2, \dots, 5$). Тогда исходная система уравнений (1) будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{51}P_5 - (\lambda_{12} + \lambda_{15})P_1 &= 0; \quad \lambda_{12}P_1 - (\lambda_{23} + \lambda_{25})P_2 = 0; \\ \lambda_{23}P_2 - (\lambda_{34} + \lambda_{35})P_3 &= 0; \quad \lambda_{34}P_3 - \lambda_{45}P_4 = 0; \\ \lambda_{15}P_1 + \lambda_{25}P_2 + \lambda_{35}P_3 + \lambda_{45}P_4 - \lambda_{51}P_5 &= 0; \\ \sum_{i=1}^5 P_i &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В результате ее решения получим аналитические зависимости по определению вероятностей нахождения БО автоколонны в условиях противодействия противника в рассматриваемых состояниях, имеющие вид:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \left\{ 1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23} + \lambda_{25}} \left[1 + \frac{\lambda_{23}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \left(1 + \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{45}} \right) \right] + \frac{\lambda_{12} + \lambda_{15}}{\lambda_{51}} \right\}^{-1}; \\ P_2 &= \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23} + \lambda_{25}} P_1; \quad P_3 = \frac{\lambda_{12}\lambda_{23}}{(\lambda_{23} + \lambda_{25})(\lambda_{34} + \lambda_{35})} P_1; \\ P_4 &= \frac{\lambda_{12}\lambda_{23}\lambda_{34}}{(\lambda_{23} + \lambda_{25})(\lambda_{34} + \lambda_{35})\lambda_{45}} P_1; \quad P_5 = \frac{\lambda_{12} + \lambda_{15}}{\lambda_{51}} P_1. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Наибольший интерес среди найденных вероятностей состояний представляет вероятность нахождения БО в подавленном состоянии P_4 как характеристика противодействия ДРГ. Используя соотношения (2) – (7), после преобразований для величины P_4 будем иметь:

$$P_4 = \frac{\bar{\tau}_o \bar{t}_c^* P_1}{A_1 A_2 A_3}, \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} P_1 &= \left\{ 1 + \frac{\bar{t}_c^2 A}{\bar{t}_p (\bar{t}_c + \bar{t}_p) A_3} + \frac{(\bar{t}_c^2 + \bar{t}_p^2)(\bar{t}_{\partial 6} + \bar{t}_{ож})}{\bar{t}_p \bar{t}_c (\bar{t}_c + \bar{t}_p)} \right\}^{-1}; \\ A &= 1 + \frac{\bar{t}_c^2 \bar{t}^*}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_p + \bar{t}_n) A_2} \left[1 + \frac{\bar{\tau}_o \bar{t}_c^3}{\bar{t}^* (\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_c + \bar{t}^*)} \right]; \\ A_1 &= (\bar{t}_c + \bar{t}_p)^3 (\bar{t}_c + \bar{t}_n)^2 (\bar{t}_c + \bar{t}^*) (\bar{t}_p + \bar{t}_n) \bar{t}_p; \\ A_2 &= \left[1 + \frac{\bar{t}^*}{\bar{t}^* + \bar{t}_c} - \frac{\bar{t}_c^3}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_c + \bar{t}^*)} \right]; \\ A_3 &= \left[1 + \frac{\bar{t}_c^3}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_p + \bar{t}_n)} - \frac{\bar{t}_c^2}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)} \right]. \end{aligned}$$

Для дальнейшего анализа полученных величин предположим, что

$$\bar{t}_c + \bar{t}_p \cong \bar{t}_c; \quad \bar{t}_o + \bar{t}_n \cong \bar{t}_c; \quad \bar{t}_c + \bar{t}^* \cong \bar{t}_c; \quad \bar{\tau}_o + \bar{t}^* \cong \bar{\tau}_o.$$

Тогда после преобразования уравнения (10) выражение для вероятности нахождения БО в подавленном состоянии запишется в виде

$$P_4 = \frac{\bar{\tau}_o \bar{t}_c}{\tau_2 + \bar{\tau}_o \bar{t}_c}, \quad (11)$$

где

$$\tau_2 = (2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{\partial 6} + \bar{t}_{ож}) \bar{t}^*.$$

Анализ зависимости (11) для различных частных случаев показывает, что она правильно отражает физический смысл рассматриваемого явления.

В частности,

$$P_4 \rightarrow 0 \text{ при } \bar{t}_c \rightarrow 0, \text{ или } \bar{t}_p \rightarrow \infty, \text{ или } \bar{t}_n \rightarrow \infty, \text{ или } \bar{\tau}_o \rightarrow 0;$$

$$P_4 \rightarrow 1 \text{ при } \bar{t}_c \rightarrow \infty, \text{ или } \bar{\tau}_o \rightarrow \infty.$$

Полученная формула (11) может быть использована для определения максимального времени ведения огня БО автоколонны.

Если обозначить R – вероятность выполнения огневой задачи в процессе функционирования БО, то можно записать

$$R = (1 - P_4) P_{пор}, \quad (12)$$

где $(1 - P_4)$ – вероятность нахождения БО в неподавленном состоянии; $P_{пор}$ – вероятность поражения ДРГ [2]

$$P_{пор} = \frac{n\lambda\bar{t}_c}{\alpha + n\lambda\bar{t}_c}; \quad (13) \quad \alpha = \frac{19E_x E_y}{S}; \quad (14)$$

n, λ – количество огневых средств в БО и средняя их скорострельность, соответственно; E_x, E_y – срединные ошибки подготовки по дальности и направлению, соответственно; S – приведенная зона поражения.

Подставив в выражение (12) зависимости (11), (13), получим

$$R = \frac{\tau_2}{(\tau_2 + \tau_o\bar{t}_c)} \cdot \frac{n\lambda\bar{t}_c}{(\alpha + n\lambda\bar{t}_c)}. \quad (15)$$

Вычислив производную $\frac{dR}{d\bar{t}_c}$ и решив уравнение

$$\frac{dR}{d\bar{t}_c} = 0, \quad (16)$$

после преобразований и подстановки выражения (14) для величины α найдем

$$\bar{t}_{c\ onm} = \sqrt{\frac{19E_x E_y (2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{\delta\sigma} + \bar{t}_{\delta\omega}) \bar{t}^*}{Sn\lambda\bar{\tau}_o}}. \quad (17)$$

По формуле (17) рассчитывается МОЖ времени стрельбы БО за цикл функционирования. Эта величина может использоваться и при проведении других исследований по обоснованию характеристик вооружения БО.

Легко убедиться, что формула (17) дает максимальное значение вероятности выполнения задачи: анализ величины $\frac{d^2R}{d\bar{t}_c^2}$ показывает, что она отрицательна в точке $t - \bar{t}_{c\ onm}$.

Оценку отклонений величины \bar{t}_c от ее МОЖ (17) можно произвести, используя выражение для средне-квадратического отклонения (СКО) σ функции некорреляционных случайных величин [2]:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2}, \quad (18)$$

где φ – функция случайных аргументов x_1, x_2, \dots, x_n ; $\varphi = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$; σ_{x_i} – СКО случайного аргумента x_i ($i=1, 2, \dots, n$).

Дифференцирование выражения (17) дает:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_p} &= B \frac{\bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \left[\frac{(2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{\delta\sigma} + \bar{t}_{\delta\omega}) \bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \right]^{-\frac{1}{2}} \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_p} = \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_n} = \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_{\delta\sigma}} = \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_{\delta\omega}} = \frac{1}{2} B \frac{\bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \left[\frac{(2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{\delta\sigma} + \bar{t}_{\delta\omega}) \bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \right]^{-\frac{1}{2}}; \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}^*} &= \frac{1}{2} B \frac{\bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \left[\frac{(2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{\delta\sigma} + \bar{t}_{\delta\omega}) \bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \right]^{-\frac{1}{2}} \frac{(2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{\delta\sigma} + \bar{t}_{\delta\omega}) \bar{t}^*}{\bar{\tau}_o^2}. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

где

$$B = \sqrt{\frac{19E_x E_y}{Sn\lambda}}.$$

Для СКО σ_{t_c} времени стрельбы, используя зависимости (18), (19) и учитывая, что при показательном законе распределения МОЖ и СКО совпадают, получим

$$\sigma_{t_c} = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_p} \right)_{\bar{t}_p}^2 \bar{t}_p^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_n} \right)_{\bar{t}_n}^2 \bar{t}_n^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_{\delta\sigma}} \right)_{\bar{t}_{\delta\sigma}}^2 \bar{t}_{\delta\sigma}^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_{\delta\omega}} \right)_{\bar{t}_{\delta\omega}}^2 \bar{t}_{\delta\omega}^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}^*} \right)_{\bar{t}^*}^2 \bar{\tau}_o^2}.$$

В выражение (17) входит отношение $\frac{\bar{t}^2}{\bar{\tau}_o}$ времен пребывания БО в неподавленном и подавленном состояниях за время обстрела ДРГ.

Ведем величину

$$\pi = \frac{\bar{\tau}_o}{\bar{\tau}_o + \bar{t}^*} = \frac{1}{1 + \beta}, \quad 0 \leq \pi \leq 1, \quad (20)$$

где $\beta = \frac{\bar{t}^*}{\bar{\tau}_o}$.

Поскольку сумма $\bar{t}_o + \bar{t}^*$ есть полное время огневого воздействия ДРГ по БО, зависящее от интенсивности обстрела, типа и количества привлекаемых средств, то величину π можно интерпретировать как вероятность нахождения БО в подавленном состоянии за время огневого воздействия ДРГ или надежность подавления БО огнем противника.

Решив уравнение (20) относительно величины β и подставив ее в формулу (17), получим

$$\bar{t}_{c\text{opt}} = \sqrt{\frac{19E_x E_y}{S\lambda n} (2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{\text{дв}} + \bar{t}_{\text{ож}}) \frac{(1-\pi)}{\pi}}. \quad (21)$$

Таким образом, оптимальное время стрельбы БО автоколонны при нападении ДРГ зависит как от характеристик поражающего действия и функционирования вооружения БО автоколонны, так и от обобщенной характеристики противодействия ДРГ (надежности подавления БО противником — π). Задавая конкретное значение уровня надежности подавления, можно рассчитать допустимое время стрельбы БО.

Величина π может определяться как с использованием соотношений теории боевой эффективности, так и на основе обработки статистических данных опыта войны и опроса экспертов.

Предложенный подход остается справедливым и в случае иных законов распределения, составляющих времени цикла функционирования БО. Хотя возникающие при этом сложности не позволяют получать решение в аналитическом виде и приходится использовать ЭВМ, качественные результаты остаются аналогичными.

Таким образом разработана модель определения вероятностей состояний БО автоколонны в условиях нападения ДРГ, которая позволяет получить аналитические выражения расчета рассматриваемых состояний БО.

Получено выражение (21) для определения оптимального времени стрельбы БО, которое может найти применение при обосновании технических характеристик образцов вооружения.

Список литературы:

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: «Сов. радио», 1972.
2. Фендриков Н.М., Яковлев В.И. Метода расчета боевой эффективности вооружения. М.: Воениздат, 1971.
3. Курков, С.Н. Применение марковских случайных процессов в решении военно-технических задач : монография /С.Н. Курков, О. А. Голованов, Д. С. Курков, А. А. Плющ. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2018. – 400 с.
4. Курков, Д. С. К вопросу совершенствования информационного обеспечения системы управления техническим состоянием, надежностью и безопасностью боеприпасов при хранении в мирное время / Д. С. Курков, П. И. Тобольченко // Вооружение и экономика : сборник научных статей XII Межведомственной НТК. – М.: ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, 2019. – С. 407–413.
5. Курков, Д. С. К вопросу совершенствования понятийного аппарата надежности боеприпасов на этапе хранения в мирное время / Д. С. Курков, В. И. Волчихин, С. Н. Курков // Перспективы развития военно-системных исследований проблем материально-технического и финансового обеспечения ВС РФ : сборник материалов межведомственной НПК, 13 декабря 2019 г. Санкт-Петербург : ВА МТО, РАРАН, 2019. Т. 1. С. 112–115.

Курков Сергей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения,

Воротилин Михаил Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, проректор ТулГУ, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Моргунов Дмитрий Валерьевич, адъюнкт, Россия, Вольск, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения,

Чайковский Виктор Михайлович, доцент, wertex5@yandex.ru, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет

A MODEL FOR DETERMINING THE PROBABILITIES OF THE STATES AND THE TIME OF OPERATION OF THE COMBAT GUARD OF A CONVOY DURING AN ATTACK BY A SABOTAGE AND RECONNAISSANCE GROUP

S.N. Kurkov, M. S. Vorotilin, D.V. Morgunov, V.M. Tchaikovsky

A Markov model is proposed for determining the probabilities of the states of combat protection (BO) of a convoy under attack by a sabotage and reconnaissance group (DRG), which allows us to obtain analytical expressions for calculating the considered BO states. A dependence has been obtained to determine the optimal firing time of the BO, which can be used to substantiate the technical characteristics of weapons samples.

Key words: convoy, combat guard, sabotage and reconnaissance group, mathematical expectation (MOG), standard deviation (RMS), transition probability density BO from the i-th to the j-th state.

Kurkov Sergey Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics (Penza),

Vorotilin Mikhail Sergeyevich, doctor of technical sciences, professor, vice-rector of Tula State University, Russia, Tula, Lenin Ave. 92, Tula State University,

Morgunov Dmitry Valerievich, docent, Russia, Volsk, Branch of the Military Academy of Logistics,

УДК 624.4

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-50-51

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ АКТИВНОЙ ЧАСТИ ЗАРЯДА ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА ОСКОЛОЧНОГО ЗАРЯДА НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

А.И. Сидоров, Д.Е. Новиков, М.С. Воротилин, А.Н. Павлюченко, А.С. Ишков

При взрыве заряда взрывчатое вещество на поверхности плиты не вся энергия заряда передается плите. Масса той части заряда взрывчатого вещества, которая передается энергию плите, называется активной массой. Активная масса действует в данном направлении, остальная часть заряда разлетается вверх и в сторону.

Ключевые слова: заряд, активная часть, оболочка, детонация, взрывчатое вещество.

При подрыве какого-либо заряда в заданном направлении разлетается не вся масса данного заряда, а лишь часть массы заряда, называемой активной частью заряда. Активная часть заряда определяет эффективность действия его в направлении разлета продуктов детонации. Рассмотрение вопроса об активной части осколочного заряда направленного действия представляет большой практический интерес, так как осколочная оболочка (готовые поражающие элементы) осколочные заряды направленного действия метаются под действием именно продуктов детонации активной части заряда. Для определения величины активной части заряда взрывчатого вещества осколочного заряда направленного действия необходимо знать границу разлета продуктов детонации в сторону осколочной оболочки и наружной оболочки (корпуса) осколочного заряда направленного действия.

В некоторых работах показано, что величина активной части заряда определяется геометрическими размерами заряда и особенностями разлета продуктов детонации с его боковой поверхности. Если заряд заключен в оболочку, то в детонирующем заряде в большей или меньшей степени ограничено распространение боковых волн разряжения, что приводит к соответствующему увеличению активной части заряда. В этих условиях границу активной части заряда взрывчатого вещества осколочного заряда направленного действия целесообразно определять из условия встречи волн разгрузки от осколочной оболочки и корпуса осколочного заряда направленного действия. Следовательно, волны разгрузки будут определять направление разлета продуктов детонации, что позволит условно разделить разрывной заряд на две части, энергия которых расходуется на метание корпуса осколочного заряда направленного действия и осколочной оболочки (готовых поражающих элементов) соответственно.

Таким образом, высота активной части заряда взрывчатого вещества осколочного заряда направленного действия, отвечающей за метание n -го элемента осколочной оболочки, находится из соотношения вытекающего из условия одновременного подхода волн разгрузки от внутренней поверхности корпуса осколочного заряда направленного действия и наружной поверхности осколочной оболочки к поверхности раздела.

Примем точку A за исходную точку распространения детонационной волны. Тогда время прихода детонационной волны к точкам B и D можно определить соответственно по зависимостям:

$$t_{kn} = \frac{L_{kn}}{D}; \quad t_{on} = \frac{L_{on}}{D}, \quad (1)$$

где L_{kn} – расстояние от точки A до точки B ,

$$L_{kn} = \begin{cases} \frac{R_{кв} - R_{ул} - h_n \operatorname{tg} \varepsilon_\varepsilon}{\cos(\psi_{kn} + \varepsilon_\varepsilon)}, & \text{при } h_n > 0; \\ \frac{R_{кв} - R_{ул}}{\cos \psi_{kn}}, & \text{при } h_n \leq 0; \end{cases} \quad (2)$$

L_{on} – расстояние от точки A до точки D ,

$$L_{on} = \sqrt{a_0^2 + (R_{ул})^2} \cos(\gamma_o + \alpha_n - \psi_{on}) + (x_{он} + b_0 - x_n) \cos \psi_{on}; \quad (3)$$

γ_o – угол, определяемый по формуле:

$$\gamma_o = \begin{cases} a \operatorname{rctg} \frac{R_{ул}}{a_0}, & \text{при } a_0 \neq 0; \\ \frac{\pi}{2}, & \text{при } a_0 = 0; \end{cases} \quad (4)$$

D – скорость распространения детонационной волны.

Согласно данным, движение фронта волны разгрузки от точки D осколочной оболочки с координатой x_n до точки C , определяющей границу активной части заряда взрывчатого вещества осколочного заряда направленного действия, описывается уравнением:

$$L_{aon} = (t_{bn} - t_{zon}) \frac{D}{2}, \quad (5)$$

а движение фронта волны разгрузки от точки B корпуса осколочного заряда направленного действия до точки C описывается уравнением:

$$L_{akn} = -(t_{bn} - t_{zkn}) \frac{D}{2}, \quad (6)$$

где t_{en} – время встречи волн разгрузки от корпуса и осколочной облицовки осколочного заряда направленного действия; t_{zon} – время задержки формирования волны разгрузки от осколочной облицовки осколочного заряда направленного действия; t_{zkn} – время задержки формирования волны разгрузки от корпуса осколочного заряда направленного действия; L_{aon} – высота активной части заряда взрывчатого вещества, действующей на осколочную оболочку; L_{akn} – высота активной части заряда взрывчатого вещества, действующей на корпус осколочного заряда направленного действия;

Из геометрических соображений (см. рисунок 1) следует, что

$$L_{akn} = \begin{cases} L_{aon} \cos(\alpha_H - \varepsilon_\theta) - x_n \sin(\alpha_H - \varepsilon_\theta), & \text{при } h_n > 0; \\ L_{aon} \cos \alpha_H - x_n \sin \alpha_H, & \text{при } h_n \leq 0. \end{cases} \quad (7)$$

Подставив формулы (5) и (6) в выражение (7), после преобразований получим следующее выражение для определения времени t_{en} встречи волн разгрузки от осколочной оболочки и корпуса осколочного заряда направленного действия:

$$t_{en} = \begin{cases} \frac{2 \frac{x_n}{D} \sin(\alpha_H - \varepsilon_\theta) + t_{zon} \cos(\alpha_H - \varepsilon_\theta) + t_{zkn}}{1 + \cos(\alpha_H - \varepsilon_\theta)}, & \text{при } h_n > 0; \\ \frac{2 \frac{x_n}{D} \sin \alpha_H + t_{zon} \cos \alpha_H + t_{zkn}}{1 + \cos \alpha_H}, & \text{при } h_n \leq 0. \end{cases} \quad (8)$$

Подставив выражение (8) в зависимость (5), после преобразований для определения высоты активной части заряда взрывчатого вещества в сечении осколочной оболочки с координатой x_n получим:

$$L_{aon} = \begin{cases} \frac{x_n \sin(\alpha_H - \varepsilon_\theta) - \frac{D}{2}(t_{zon} - t_{zkn})}{1 + \cos(\alpha_H - \varepsilon_\theta)}, & \text{при } h_n > 0; \\ \frac{x_n \sin \alpha_H - \frac{D}{2}(t_{zon} - t_{zkn})}{1 + \cos \alpha_H}, & \text{при } h_n \leq 0. \end{cases} \quad (9)$$

Учитывая, что

$$\operatorname{tg} \frac{A}{2} = \frac{\sin A}{1 + \cos A}, \quad (10)$$

выражение (9) можно представить в виде:

$$L_{aon} = \begin{cases} x_n \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_H - \varepsilon_\theta}{2} \right) - \frac{D(t_{zon} - t_{zkn})}{2[1 + \cos(\alpha_H - \varepsilon_\theta)]}, & \text{при } h_n > 0; \\ x_n \operatorname{tg} \frac{\alpha_H}{2} - \frac{D(t_{zon} - t_{zkn})}{2[1 + \cos \alpha_H]}, & \text{при } h_n \leq 0. \end{cases} \quad (11)$$

Если также учесть, что

$$1 + \cos A = 2 \cos^2 \frac{A}{2}, \quad (12)$$

то выражению (11) можно придать вид:

$$L_{aon} = \begin{cases} x_n \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_H - \varepsilon_\theta}{2} \right) - \frac{D(t_{zon} - t_{zkn})}{4 \cos^2 \left(\frac{\alpha_H - \varepsilon_\theta}{2} \right)}, & \text{при } h_n > 0; \\ x_n \operatorname{tg} \frac{\alpha_H}{2} - \frac{D(t_{zon} - t_{zkn})}{4 \cos^2 \frac{\alpha_H}{2}}, & \text{при } h_n \leq 0. \end{cases} \quad (13)$$

Время задержки t_{zon} формирования волны разгрузки от осколочной оболочки можно представить в виде:

$$t_{zon} = t_{on} + \Delta t_{on}, \quad (14)$$

где Δt_{on} – время задержки формирования волны разгрузки вследствие наличия осколочной оболочки толщиной δ_{on} .

Аналогично время задержки t_{zkn} формирования волны разгрузки от корпуса осколочного заряда направленного действия можно представить в виде:

$$t_{zkn} = t_{kn} + \Delta t_{kn}, \quad (15)$$

где Δt_{kn} – время задержки формирования волны разгрузки вследствие наличия корпуса осколочного заряда направленного действия толщиной δ_{kn} .

Рассмотрим определение времен задержек Δt_{on} и Δt_{kn} . При подходе детонационной волны к осколочной оболочке или к корпусу осколочного заряда направленного действия формирование отраженной волны задерживается вследствие наличия осколочной оболочки и корпуса осколочного заряда направленного действия толщиной δ_{on} и δ_{kn} соответственно. Для решения данной задачи примем следующие допущения:

1. Фронт детонационной волны и фронты ударных волн в корпусе и в осколочной оболочке осколочного заряда направленного действия плоские.
 2. Углы отражения ударных волн от наружной поверхности корпуса и внутренней поверхности осколочной оболочки осколочного заряда направленного действия равны углам падения.
 3. Скорость волны разгрузки принимается равной половине скорости детонации взрывчатого вещества.
- Расчетная схема определения времени задержки формирования волны разгрузки от корпуса осколочного заряда направленного действия представлена на рисунке 1. Аналогичная расчетная схема имеет место и при определении времени задержки формирования волны разгрузки от осколочной оболочки.
- Из рисунка 1 следует, что

$$C_k \Delta t = \frac{D \Delta t}{\cos \psi_{kn}} \operatorname{tg} \alpha \quad (16)$$

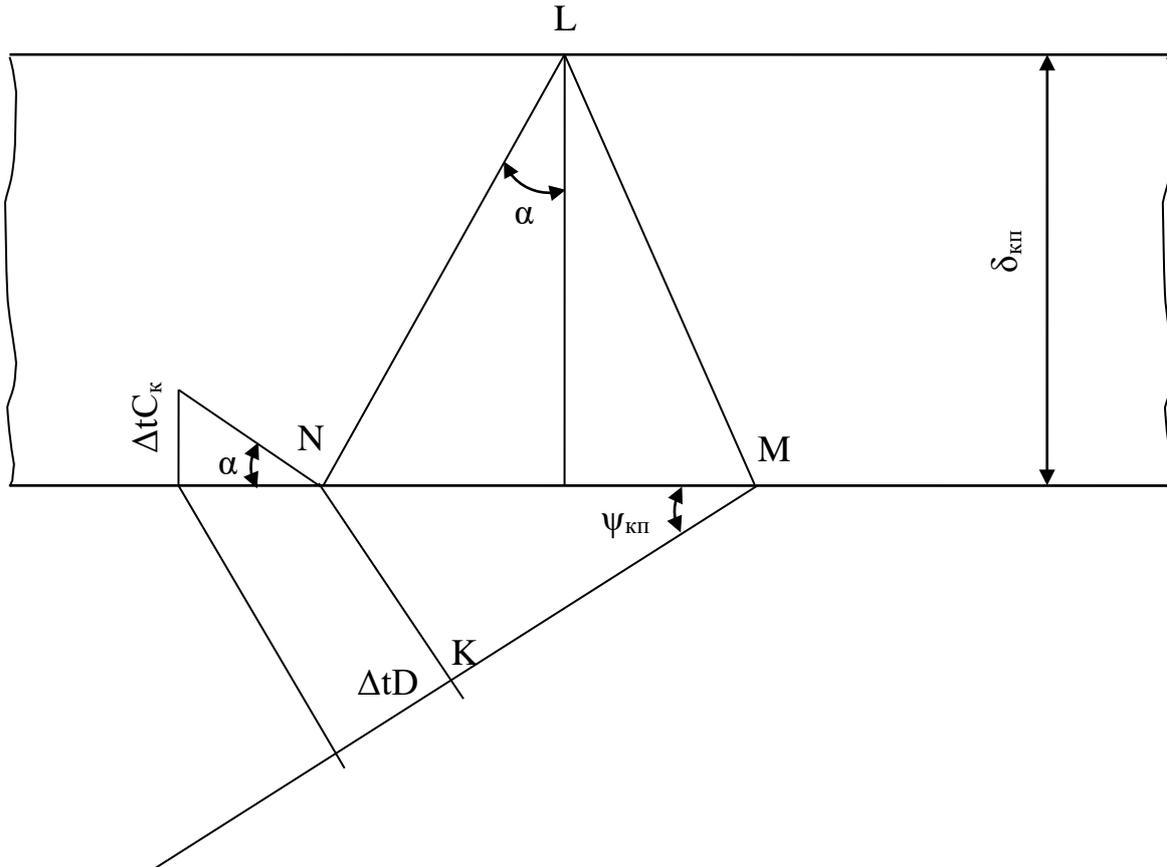


Рис. 1. Схема определения времени задержки формирования волны разгрузки от корпуса осколочного заряда направленного действия

Тогда

$$\alpha = \arctg \left(\frac{C_k}{D} \cos \psi_{kn} \right), \quad (17)$$

где C_k – скорость распространения ударной волны в материале корпуса осколочного заряда направленного действия; Δt – промежуток времени.

Время задержки Δt_{kn} определяется как

$$\Delta t_{kn} = t_c - t_d, \quad (18)$$

где t_c – время движения ударной волны от точки N до точки M ,

$$t_c = \frac{2\delta_{kn}}{C_k \cos \alpha}; \quad (19)$$

t_d – время движения детонационной волны от точки K до точки M ,

$$t_d = \frac{2\delta_{kn}}{D} \operatorname{tg} \alpha \cos \psi_{kn}. \quad (20)$$

Из выражения (17) следует, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{C_k}{D} \cos \psi_{kn}, \quad (21)$$

$$\cos \alpha = \cos \left[\arctg \left(\frac{C_K}{D} \cdot \cos \psi_{kn} \right) \right] = \left[1 + \left(\frac{C_K}{D} \cdot \cos \psi_{kn} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}. \quad (22)$$

Тогда формулы (19) и (20) можно представить в виде:

$$t_c = \frac{2\delta_{kn}}{C_K} \sqrt{1 + \left(\frac{C_K}{D} \cos \psi_{kn} \right)^2}. \quad (23)$$

$$t_d = \frac{2\delta_{kn}}{D} \frac{C_K}{D} \cos^2 \psi_{kn}. \quad (24)$$

Подставив формулы (23) и (24) в выражение (18) для определения времени задержки Δt_{kn} , получим:

$$\Delta t_{kn} = \frac{2\delta_{kn}}{C_K} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{C_K}{D} \cos \psi_{kn} \right)^2} - \left(\frac{C_K}{D} \cos \psi_{kn} \right)^2 \right]. \quad (25)$$

Проделав аналогичные выкладки для осколочной оболочки для определения времени задержки Δt_{on} можно получить:

$$\Delta t_{on} = \frac{2\delta_{on}}{C_o} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{C_o}{D} \cos \psi_{on} \right)^2} - \left(\frac{C_o}{D} \cos \psi_{on} \right)^2 \right], \quad (26)$$

где C_o – скорость распространения ударной волны в материале осколочной оболочки.

Список литературы

1. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П., Челышев В.П., Шехтер Б.И., Физика взрыва, монография, под редакцией Станюковича К.П., изд. 2-е, перераб., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1975 г., 704 с.
2. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И., Физика взрыва, Государственное издательство физико-математической литературы, Москва 1959 г. 792 с.
3. Покровский Г.И., Об Оптимальном коэффициенте наполнения боеприпасов, Сборник докладов № 8, изд. ААН.
4. Покровский Г.И., Физические основы учения о взрыве и ударе, т. 3, 1948 г.
5. Станюкович К.П., О метании тел одномерным продуктом детонации, Сборник докладов ААН, 1950, т. 8.

Новиков Дмитрий Евгеньевич, адъюнкт, подполковник, penzakms@ya.ru, Россия, Пенза, Филиала ВА МТО (г.Пенза),

Сидоров Алексей Иванович, д-р техн. наук, профессор, Россия, Пенза, Пенза-5,

Воротилин Михаил Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, проректор ТулГУ, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Павлюченко Алина Николаевна, младший научный сотрудник, alo.alina@bk.ru, Россия, Москва, ФГБУ 27 ЦНИИ МО РФ,

Ишков Антон Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, asihkov@mail.ru, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет

A METHOD FOR DETERMINING THE MASS OF THE ACTIVE PART OF THE EXPLOSIVE CHARGE OF A DIRECTED FRAGMENTATION CHARGE

A.I. Sidorov, D.E. Novikov, M.S. Vorotilin,
A.N. Pavlyuchenko, A.S. Ishkov

When an explosive charge explodes on the surface of the plate, not all of the charge energy is transferred to the plate. The mass of that part of the explosive charge that transfers energy to the plate is called the active mass. The active mass acts in this direction, the rest of the charge flies up and to the side.

Key words: charge, active part, shell, detonation, explosive.

Novikov Dmitry Evgenievich, adjunct, lieutenant colonel, penzakms@ya.ru, Russia, Penza, Branch of the VA MTO (Penza),

Sidorov Alexey Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Penza, Russia, Penza-5,

Vorotilin Mikhail Sergeevich, doctor of technical sciences, professor, vice-rector of Tula State University, Russia, Tula, Tula State University,

Pavlyuchenko Alina Nikolaevna, junior researcher, alo.alina@bk.ru, Russia, Moscow, FBU 27 Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation,

Ishkov Anton Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, asihkov@mail.ru, Russia, Penza, Penza State University

УДК 623.4.01

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-54-55

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕРМОБАРИЧЕСКИХ БОЕВЫХ ЧАСТЕЙ РЕАКТИВНЫХ ШТУРМОВЫХ ГРАНАТ И РЕАКТИВНЫХ ПЕХОТНЫХ ОГНЕМЕТОВ

Ф.А. Савченко, А.С. Голенко, М.С. Воротилин, А.С. Ишков

Приведен один из подходов к оценке эффективности теплового воздействия реактивных штурмовых гранат и реактивных пехотных огнеметов боевые части которых снаряжаются конденсированными, пластизольными или термобарическими взрывчатыми составами, обеспечивающих осколочное, фугасное, зажигательное и тепловое воздействие на цель.

Ключевые слова: оценка теплового воздействия, реактивная штурмовая гранат, боевая часть, инфракрасное излучение, интенсивность теплового излучения.

Реактивные штурмовые гранаты РШГ-1 и РШГ-2, реактивная многоцелевая граната (РМГ), а также реактивные пехотные огнеметы РПО-А, РПО-ПДМ, малогабаритный огневой гранатомет МРО-А а также ПТУР имеют боевые части (БЧ) снаряженные термобарическими составами (ТБС).

Первой огневой смесью, реализованной в РПО-А стала ОМ-100МИ, представляющей собой термобарический состав (ТБС) на основе магнезиевой пудры и обладающей совершенно неоспоримым преимуществом, а именно дешевой, так как производство композиции осуществляется прямым дозированием дешевых компонентов в корпус изделия при его снаряжении.

В РШГ-2 в качестве снаряжения стали использовать ТБС ЛП-30Т, а для РШГ-1 позаимствовали огнемётную смесь ОМ-100МИ-3Л. Со временем для снаряжения РШГ-1 стали использовать только вещество ЛП-30Т.

Такие боеприпасы позволяют эффективно бороться с огневыми точками и живой силой противника, находящейся на дистанциях от 50 до 600 м, в том числе в зданиях и сооружениях.

Принято считать, что основным поражающим действием БЧ являются параметры взрыва ТБС, а именно, избыточное давление во фронте ударной волны (УВ), удельный импульс УВ, а также приведенная площадь фугасного поражения. Так как ТБС заключен в тонкостенную оболочку БЧ, следовательно, наряду, с действием параметров взрыва ТБС будет иметь место и осколочное действие, оцениваемое также приведенной зоной поражения. Однако вопрос об оценке теплового воздействия при взрыве ТБС практически не оценивается. Поэтому разработка методики оценки теплового воздействия параметров взрыва БЧ с ТБС представляет актуальную задачу. При этом необходимо разграничить критерии зажигательного действия боеприпасов и теплового воздействия при взрыве ТБС.

При рассмотрении осколочного действия боеприпасов специалисты МГТУ им. Н.Э. Баумана [1,2] зажигательное действие поражающих элементов (ПЭ) боеприпасов связывают с их попаданием в уязвимые зоны цели (топливные баки, ракетные двигатели и т. п.). Так как ПЭ имеют достаточные скорости и массы, могут вызвать их воспламенение, и как следствие вывод цели из строя. При этом в качестве основного критерия, определяющую зажигательную способность осколка, рекомендовано принимать его удельный импульс

$$J_{ПЭ} = m_{оск} \frac{V_{оск}}{S} = m_{jcr}^{0,333} \frac{V_{оск}}{\Phi},$$

где $m_{оск}$ - масса осколка; $V_{оск}$ - скорость осколка; $\Phi = 1,8...2,2$ - параметр формы осколка

$$\Phi = \frac{\bar{S}}{V_{оск}^{2/3}},$$

\bar{S} - средний мидель осколка

$$\bar{S} = \frac{1}{2}(ab + bc + ac);$$

a, b, c - стороны произвольного прямоугольного параллелепипеда.

При оценке эффективности боеприпасов объемного взрыва за критерий принимаются параметры воздействия воздушных ударных волн: избыточное давление во фронте ударной волны, удельный импульс по которым определяется приведенная зона поражения. Оценка теплового воздействия при взрыве ТБС в работах [1,3] не проводилась по всей вероятности из-за того, что параметры осколочного и фугасного действия преобладают по сравнению с воздействием теплового излучения взрыва ТБС.

Не рассматривалось зажигательное или тепловое воздействие термобарического взрыва боеприпасов и в филиале ВА МТО (г. Пенза) [4].

Военные эксперты МВАА в своей оценке эффективности поражающего действия средств поражения [5], применительно к зажигательному действию боеприпасов рассматривают удары авиации и артиллерии через призму совместного воздействия факторов массового пожара на объектах противника. К поражающим факторам ими отнесены: высокая температура среды (Т), инфракрасное излучение пламени (ИКИ), которое характеризуется облученностью ($\epsilon_{обл}$) и окись углерода (СО).

Параметры этих поражающих факторов нарастают в процессе развития массового пожара, достигают своих максимальных значений в период соединения очагов горения, а затем уменьшаются до нормальных значений. Однако применительно к оценке одиночного взрыва БЧ с ТБС данный подход по очевидным причинам не может быть применен, ввиду невозможности создания массового пожара. Вместе с тем не без интересен подход к оценке инфракрасного излучения (электромагнитного излучения), которое характеризуется облученностью ($\epsilon_{обл}$), количеством тепловой энергии, падающей на единицу площади в единицу времени. Поражающее действие ИКИ связано с прогреванием открытых и защищенных обмундированием частей тела. Тяжесть ожога зависит от облучения $\epsilon_{обл}$ и от экспозиции $\tau_{обл}$.

В табл. 1 приведены характеристики стационарного ИКИ при воздействии на открытые части тела

Таблица 1

Характеристики предельно-допустимого воздействия ИКИ на человека

Облученность, $\epsilon_{обл}$, кал/см ² ·с	0,067	0,1	0,133	0,167	0,333	0,568
Экспозиция, $\tau_{обл}$, с	22,7	13,4	7,5	5,1	1,5	0,5
Импульс, $U = \epsilon_{обл} \cdot \tau_{обл}$, кал/см ²	1,52	1,34	1,0	0,85	0,5	0,284

Анализ данных табл. 1 показывает, что импульс ИКИ (U), рассчитанный как произведение облученности и экспозиции, зависит от уровня воздействующей энергии: чем больше энергия, тем меньше импульс. Объяснение этому явлению дает эсергетический метод термодинамического анализа. Дело в том, что воздействие одной и той же единицы энергии (например, одной калории) зависит от разности температур воздействующей среды (T_{θ}) и температуры самого объекта ($T_{об}$). Т.е. необходимо учитывать термический коэффициент полезного действия (КПД) данного уровня энергии:

$$R_{ИКИ} = \frac{T_{\theta} - T_{ц}}{T_{\theta}}$$

Если температура цели 37°C (310°K) и воздействующая температура 50°C (323°K), то КПД будет равен: $R_{ИКИ} = (323 - 310)/323 = 0,04$. Однако при воздействии температуры 150°C (423°K) $R_{ИКИ} = 0,267$.

Облученность, создаваемая ИКИ, пропорциональна четвертой степени температуры излучающего его пламени и это позволяет с использованием термического КПД определить так называемую эффективную облученность e_{ϵ} :

$$e_{\epsilon} = \epsilon \cdot R_{ИКИ} - S_{\epsilon}$$

где S_{ϵ} – энтропия излучения, рассчитываемая по формуле:

$$S_{\epsilon} = 1,84 \cdot \left(\frac{T_{\theta}}{100}\right)^3$$

Импульс ИКИ, рассчитанный как произведение эффективной облученности и экспозиции, называется эффективным:

$$U_{\epsilon} = e_{\epsilon} \cdot \tau$$

Рассчитанные по данным зависимостям значения эффективной облученности и эффективного импульса ИКИ, характеризующие предельно-допустимое воздействие, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики предельно-допустимого воздействия ИКИ на человека

Экспозиция, τ , с	22,7	13,4	7,5	5,1	1,5
Облученность, ϵ , кал/(см ² ·с)	0,067	0,1	0,133	0,167	0,333
Эффективная облученность, e_{ϵ} , кал/(см ² ·с)	0,123	0,024	0,028	0,01	0,038
Эффективный импульс, U_{ϵ} , кал/см ²	0,216	0,286	0,300	0,309	0,289

Данные, приведенные в четвертой строке этой таблицы, свидетельствуют о том, что предельно-допустимое воздействие ИКИ можно характеризовать одним числом: средней величиной эффективного импульса ИКИ, равного 0,280 кал/см², что справедливо для оценки воздействия ИКИ как фактора массового пожара, в тоже время значение эффективного импульса ИКИ, равного 0,289 кал/см² (или 12,1 кДж/м²; или 12,1 кВт·с/м²), характерное для экспозиции в 1,5 с, может быть принято за базовое значение при оценке теплового воздействия взрыва БЧ с ТБС.

Аналогичным образом могут быть получены среднепоражающие (вероятность поражения человека равна 0,5) значения эффективных импульсов ИКИ, приводящие к потере боеспособности живой силы на время не менее заданного (например: на время не менее 0,5 часа $U_{\epsilon} = 0,95$ кал/см²).

Оксись углерода – бесцветный газ, не имеющий запаха, вызывает отравление. Тяжесть отравления зависит от концентрации окиси углерода (C_{CO}) и экспозиции (τ).

В табл. 3 приведены характеристики воздействия на человека окиси углерода, приводящие к тяжелой степени отравления.

Как следует из данных табл. 3 добиться экспозиции в 3 с при взрыве ТБС не представляется возможным даже в замкнутых объемах промышленной застройки.

Таблица 3

Характеристики воздействия на человека окиси углерода, приводящие к тяжелой степени отравления

Концентрация окиси углерода, C_{CO} , мл/л	0,98	3,4	5,7	7,04	11,5	14,1
Экспозиция, τ , мин	210	30	12,5	10	5	3
Доза окиси углерода, D , мг·мин/л	205	102	74	70	57	42

Тепловое воздействие на человека зависит от температуры среды (T_{θ}), экспозиции (τ) и характеризуется величиной эффективного теплового импульса, рассчитываемого с учетом термического коэффициента полезного действия $R_T = R_{ИКИ}$ (формула 2.8):

$$U_T = T_{\theta} \cdot R_T \cdot \tau$$

Среднепоражающее значение эффективного теплового импульса, приводящего к потере боеспособности человека на время не менее 0,5 часа U_{T50} равно 144 град. мин.

Приведенный выше анализ, показал, что для оценки теплового воздействия взрыва ТБС целесообразно за основу принять метод расчета интенсивности теплового излучения [8,9] через интенсивность теплового излучения.

Интенсивность теплового излучения $q_{изл}$, кВт/м², для взрыва «огненного шара») допускается вычислять по формуле [8,9]:

$$q_{изл} = 5,7 \cdot \varepsilon_{пр} \cdot \left[\left(\frac{T_{взр}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{об}}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi_{обл}$$

где 5,7 — коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м²·К⁴); $\varepsilon_{пр}$ — приведенная степень черноты системы

$$\varepsilon_{пр} = \left(1/\varepsilon_{ф} + 1/\varepsilon_{об} - 1 \right)^{-1}$$

$\varepsilon_{ф}$ — степень черноты факела (при горении древесины — 0,7; нефтепродуктов — 0,85); $\varepsilon_{об}$ — степень черноты облучаемого объекта (для древесины может быть принята равной 0,9); $T_{взр}$ — температура взрывчатого превращения ВВ, К (для ЛП-30Т — 2000 К); $T_{об}$ — температура облучаемого объекта, К; $\varphi_{обл}$ — коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями (для $r_{об} \geq r_{взр}$)

$$\varphi_{обл} = \frac{r_{взр}}{r_{об}} \left(\arccos \frac{r_{взр}}{\sqrt{r_{об}^2 + r_{взр}^2}} \right);$$

$$\varphi_{обл} = \frac{r_{взр}^2 \cdot r_{об}}{(r_{взр}^2 + r_{об}^2)^{1,5}} [1 - 0,058 \cdot \ln r_{об}]$$

где $r_{взр}$ — радиус взрыва «огненного шара», м; $r_{об}$ — расстояние от облучаемого объекта до центра взрыва «огненного шара», м.

Радиус «огненного шара» определяется по формуле

$$r_{взр} = 2,665 \cdot m_{ВВ}^{0,327}$$

где $m_{экрВВ}$ — масса горючего вещества, кг.

Время существования «огненного шара» взрыва $t_{взр}$, с, определяют по формуле

$$t_{взр} = 0,92 \cdot m_{ВВ}^{0,303}$$

Условную вероятность поражения человека тепловым излучением $P_{изл}$ определяют следующим образом:

$$P_{изл} = -14,9 + 2,56 \cdot \ln(t_{взр} \cdot q_{изл}^{1,33}),$$

Вероятность поражения людей тепловым потоком зависит от индекса дозы теплового излучения $I_{изл}$, который определяется из соотношения:

$$I_{изл} = t_{взр} (1000 \cdot q_{изл})^{1,333}$$

Кроме выше приведенной методике, также расчет интенсивности теплового излучения «огненного шара» $q_{изл}$, кВт/м², проводят по формуле [10]

$$q_{изл} = E_f \cdot F_q \cdot \tau_{атм}$$

где E_f — среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м²; F_q — угловой коэффициент облученности; $\tau_{атм}$ — коэффициент пропускания атмосферы; E_f определяют на основе имеющихся экспериментальных данных для каждого ВВ и по своей сути представляет собой теплоту взрыва ВВ, для ЛП-30Т равна 2120 ккал/кг; F_q рассчитывают по формуле

$$F_q = \frac{H/D_s + 0,5}{4 \left[(H/D_s + 0,5)^2 + \left(r_{об}/D_s \right)^2 \right]^{1,5}}$$

где H — высота центра «огненного шара», м; D_s — эффективный диаметр «огненного шара», м; $r_{об}$ — расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара», м.

Эффективный диаметр «огненного шара» рассчитывают по формуле

$$D_s = 5,33 m_{ВВ}^{0,327}$$

где $m_{ВВ}$ — масса горючего вещества, кг; H определяют в ходе специальных исследований. Допускается принимать H равной $D_s/2$.

Время существования «огненного шара», с, рассчитывают по формуле

$$t_s = 0,92 m_{ВВ}^{0,303}$$

Коэффициент пропускания атмосферы $\tau_{атм}$ рассчитывают по формуле

$$\tau_{атм} = \exp \left[-7,0 \cdot 10^{-4} \left(\sqrt{r^2 + H^2} - D_s/2 \right) \right]$$

Результаты расчета теплового потока взрыва 1,1 кг ТБС ЛП-30Т по выше указанным методикам приведен в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчета теплового потока взрыва 2,2 кг ТБС

$r_{об}$, М	1	2	3	4	5
$q_{изл}$, кВт/м ² [8,9]	504,6	439,6	358,1	279,8	214,9
$q_{изл}$, кВт/м ² [10]	329,8	417,8	364,5	285,9	219,7

Представленные данные табл. 4 выявили довольно неожиданные результаты. Во первых, разница в полученных результатах, полученных по методике [8,9] и ГОСТ [10] более чем в 3 раза, а также неопределенность в выборе критерия поражения человека.

Так в соответствии с критерием МААА [6] значение эффективного импульса ИКИ, равного $0,289 \text{ кал/см}^2$ (или $12,1 \text{ кДж/м}^2$; или $12,1 \text{ кВт}\cdot\text{с/м}^2$), характерное для экспозиции в 1,5 с, может быть принято за базовое значение при оценке теплового воздействия.

В соответствии с рекомендациями методики [8,9], при быстро меняющемся тепловом потоке (в случае теплового излучения от поднимающегося огненного шара) ожоги III степени вызывает доза излучения величиной порядка $D_t = 160 \text{ кДж/м}^2$. В качестве внешней границы смертельного поражения людей при воздействии огненного шара принимается величина дозы равная 375 кДж/м^2 . Если принять это значение за критерий то по данным табл. 4 тепловое воздействие на человека не превышает 3 м, при этом оба рассмотренных подхода дают практически схожие результаты.

Для наглядности и сравнительного анализа на рис. 1 приведена последовательность кадров скоростной видеोगраммы взрыва макетов БЧ снаряженного пластизольным ВВ ПВВ-5А массой 1,1 кг. Так как характеристики ПВВ-5А близки с характеристиками ЛП-30Т, это дает возможность проведения сравнительного анализа полученных расчетов и экспериментальных данных. В ходе экспериментальных исследований при подрыве макета БЧ на расстоянии от 4 до 10 м от центра взрыва были расположены вертикальные деревянные щиты, на поверхности которых также была развешена ветошь, смоченная в дизельном топливе.

Процесс взрыва макета БЧ фиксировался с помощью скоростной видеокамеры, частота кадров которой составляла 1000 кадр/с. Зависимость интегральной светимости продуктов взрыва от времени фиксировалась с помощью оптико-электронного устройства на основе фотодиода.

Анализ данных рис. 1 подтверждают полученные теоретические результаты, так как исходя из последовательности кадров максимальный радиус инфракрасного излучения взрыва составляет до 3 м от центра и наступает через 1...2 мс после инициирования ВВ.



Рис. 1. Последовательность кадров скоростной видеोगраммы взрыва макета БЧ

Таким образом, учитывая, что приведенная площадь осколочного поражения для БЧ РШГ-1 составляет 400 м^2 , а приведенная площадь фугасного поражения только 150 м^2 , при этом фугасное действие является преобладающим по сравнению с другими факторами, то становится очевидным что тепловое воздействие менее интенсивное. При этом предложенные методики для оценки теплового воздействия на человека могут быть использованы при оценке параметров взрыва на человека при воздействии БЧ зажигательного типа, как по критерию [6,8-10], так и использованных методик [8-10].

Список литературы

1. Боеприпасы: учебник: в 2 т. / под общей ред. В.В. Селиванова. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.
2. Осколочное действие боеприпасов: учебное пособие / С.С. Рассоха, В.В. Селиванов; под общ. ред. В.В. Селиванова. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 209 с.
3. Фугасное действие боеприпасов: учебное пособие / С.С. Рассоха, В.В. Селиванов; под общ. ред. В.В. Селиванова. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 209 с.
4. Действие артиллерийских боеприпасов: учеб. пособие / П. Н. Дерябин [и др.]. Пенза: ПАИИ, 2004. 251 с.
5. Сборник методик оценки эффективности поражающего действия средств поражения: учеб. пособие для вузов / А.А. Ганин, Н.Н. Борисов, Ф.А. Савченко [и др.]; под общ. ред. А.А. Ганина. Пенза: ПАИИ, 2013. 184 с.

6. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии / под общ. ред. А.А. Бобрикова. СПб.: «Галейя Принт», 2006. 424 с.
7. Пожаровзрывозащита: учебное пособие / сост. А.И. Сечин, О.С. Кырмакова; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 248 с.
8. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС (Книга 2). М.: МЧС, 1994. 76 с.
9. Руководство по определению зон воздействия опасных факторов аварий с сжиженными газами, горючими жидкостями и аварийно химически опасными веществами на объектах железнодорожного транспорта. Утверждено МЧС России 20.11.1997.
10. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

Савченко Федор Анатольевич, д-р техн наук, профессор, Savchenkofedan@yandex.ru, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения,

Голенко Александр Сергеевич, соискатель, главный эксперт научно-технического комитета, Россия, Москва, Главное ракетно-артиллерийское управление Министерства обороны Российской Федерации,

Воротилин Михаил Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, проректор ТулГУ, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Ишков Антон Сергеевич, доцент, docent584@mail.ru, Россия, Пенза, Пензенского государственного университета

ONE OF THE APPROACHES TO AN ESTIMATION OF THERMAL INFLUENCE OF BATTLE (DASHING) PARTS OF VOLUMETRIC EXPLOSION OF MANUAL JET ASSAULT ROCKETS

F.A. Savchenko, A.S. Golenko, M.S. Vorotilin, A.S. Ishkov

One of the approaches in one of the approaches in one of the approaches in one & of approaches in which battle(dashing) parts are equipped condensed, plastic or thermal explosive structures ensuring a defeat by splinters, demolition and thermal influence on the purpose.

Key words: an estimation of thermal influence, manual jet assault rocket, battle(dashing) part, infra-red radiation, intensity of thermal radiation.

Savchenko Fedor Anatolyevich, doctor of technical sciences, professor, Savchenkofedan@yandex.ru, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics,

Golenko Alexander Sergeevich, applicant, chief expert of the scientific and technical committee, Russia, Moscow, Main Rocket and Artillery Directorate of the Ministry of Defense of the Russian Federation,

Vorotilin Mikhail Sergeevich, doctor of technical sciences, professor, vice-rector of Tula State University, Tula, Russia, Tula State University,

Ishkov Anton Sergeevich, docent, docent584@mail.ru, Russia, Penza, Penza State University

УДК 623.4.01

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-58-59

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСКОЛОЧНО-ЗАЖИГАТЕЛЬНОГО ПОРАЖЕНИЯ ТОПЛИВОНАСЫЩЕННЫХ ОБЪЕКТОВ РЕАКТИВНЫМИ ШТУРМОВЫМИ ГРАНАТАМИ

Ф.А. Савченко, А.С. Голенко, М.С. Воротилин, О.Г. Земцова, А.Г. Елистратова

Приведен один из подходов к оценке эффективности осколочно-зажигательного поражения топливнонасыщенных объектов реактивными штурмовыми гранатами, боевые части которых снаряжаются конденсированными, пластизольными или термобарическими взрывчатыми составами, обеспечивающих осколочное и фугасное воздействие на цель.

Ключевые слова: оценка эффективности, реактивная штурмовая гранат, боевая часть, элементарная цель, осколочное и фугасное действие, вероятность воспламенения, вероятность поражения.

Реактивные штурмовые гранаты РШГ-1 и РШГ-2 имеют боевые части (БЧ) снаряженные термобарическими составами (ТБС) ОМ-100МИ-3Л и ЛП-30Т соответственно. Следовательно, основным поражающим действием БЧ являются параметры взрыва ТБС, а именно, избыточное давление во фронте ударной волны (УВ), удельный импульс УВ, а также приведенная площадь фугасного поражения. Однако ТБС заключен в тонкостенную оболочку БЧ, следовательно, наряду, с действием параметров взрыва ТБС будет иметь место и осколочное действие.

Наиболее употребляемой характеристикой эффективности действия осколочных БЧ по наземным целям является приведенная площадь осколочного поражения, в достаточной степени изученная и апробированная [1-5].

Однако анализ условий боевого применения РШГ мотострелковыми и парашютно-десантными подразделениями, по опыту боевых действий в локальных вооруженных конфликтах и с учетом опыта специальной военной операции, позволил сделать вывод о том, что в общевойсковом бою, засадах, рейдах, при выполнении специальных боевых задач чаще всего возникает необходимость применения РШГ не только по легкобронированной технике, живой силе, укрытой в зданиях и сооружениях полевого и городского типа, поражению (подавлению) расчетов огневых средств (ПТРК, СПГ и др.) и пунктов управления («командир-стрелок-радиот», расчетов управления беспилотных летательных аппаратов), а также по уничтожению тыловой инфраструктуры (топливозаправщики, пункты заправки военной техники и др.).

Предлагаемый подход позволяет оценить поражающее действие осколочно-фугасной БЧ РШГ по топливонасыщенным объектам [6], установить влияние их боевых характеристик на эффективность действия, определить состояние объекта после нанесения ударов, а также рассчитать необходимый наряд средств на выведение его из строя.

В предлагаемом подходе использованы аналитико-статистические методы исследований. При этом поражающее действие БЧ рассчитывается аналитическим путем, а условие подрыва моделируется методом статистических испытаний.

В методике приняты следующие допущения:

1. Боевая часть в момент подрыва рассматривается как точка, соответствующая его геометрическому центру, из которой начинаются траектории полета осколков.
2. Траектории полета осколков прямолинейны.
3. Попадание БЧ в контур элементарной цели (ЭЦ) из состава объекта и подрыв во внутреннем объеме обеспечивает ее поражение с вероятностью единица.
4. При подрыве БЧ внутри резервуара, последний считается пораженным с вероятностью единица.
5. Отрыв хотя бы одного стального листа от стенки резервуара при действии взрыва ударной волны приводит к напряженному состоянию всего резервуара с вероятностью единица.
6. Накопление ущерба при последующих выстрелах РШГ не рассматривается.

При расчете показателей эффективности поражения топливонасыщенных объектов БЧ в обычном снаряжении используются следующие исходные данные:

- тип объекта поражения;
- координаты ЭЦ, входящих в состав объекта;
- характеристики уязвимости объектов и ЭЦ из их состава, а также требуемый уровень их поражения;
- материал и толщины преград каждой ЭЦ;
- характеристики поражающих факторов БЧ;
- высота, скорости и углы подхода БЧ;
- точность доставки БЧ к цели;
- координаты точки (точек) прицеливания, характеристики уязвимости объектов поражения агрегатов ЭЦ из их состава задаются в соответствии с имеющимися нормативными документами [7].

Применение методики начинается с выбора из состава объектов поражения конкретной цели. Далее определяются координаты точки подрыва (падения) БЧ в целевой системе координат по формулам:

$$X_{\sigma}^u = X_{\Pi} - X_{\zeta} + X_{\sigma}^{u\zeta}(X_{\sigma}^{\Pi}); \quad Z_{\sigma}^u = Z_{\Pi} - Z_{\zeta} + Z_{\sigma}^{u\zeta}(Z_{\sigma}^{\Pi}),$$

где X_{Π}, Z_{Π} – координаты Π – й точки прицеливания; X_{ζ}, Z_{ζ} – координаты ζ –й ЭЦ из состава объекта; $X_{\sigma}^{\Pi}, Z_{\sigma}^{\Pi}$ – координаты точек подрыва (падения) БЧ при Π –й точке прицеливания.

Блок-схема методики представлена на рис. 1.

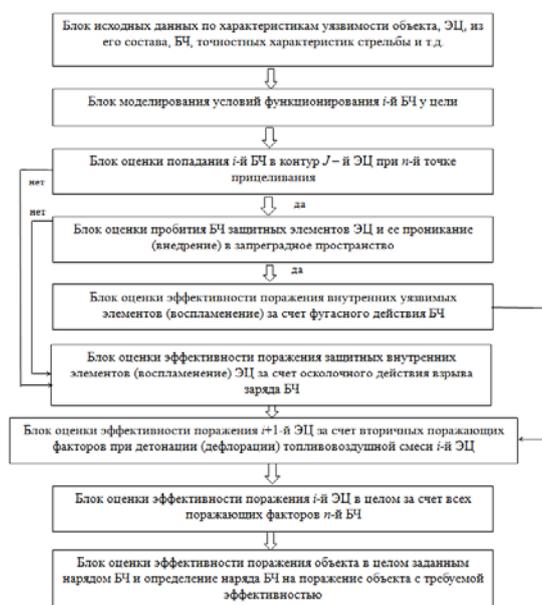


Рис. 1. Блок-схема методики оценки эффективности поражения топливонасыщенных объектов БЧ РШГ осколочно-фугасного типа

В зависимости от типа элементарной цели (ЭЦ) производится расчет вероятности поражения цели в данной реализации пусков ракет.

На первом этапе для контактного подрыва выявляется факт попадания РШГ в контур ЭЦ, а для неконтактного подрыва БЧ РШГ высота срабатывания над контуром цели.

Попадание РШГ в контур ЭЦ любого типа при контактном подрыве обеспечивает их поражение с вероятностью (P_u) равной единице. Для ЭЦ типа резервуар (цистерна) с топливом дополнительно учитывается вероятность зажжения (воспламенения) топлива (P_3), которая равна

$$P_3 = \begin{cases} 0,75 & \text{для авиационного бензина;} \\ 0,50 & \text{для авиационного керосин;} \\ 0,25 & \text{для сырьевой нефти;} \\ 0,0 & \text{для корабельного топлива.} \end{cases}$$

При контактном подрыве БЧ РШГ над целями типа резервуар с топливом, (атмосферные, и воздушные колонны, трубчатые печи), для расстояния, равного высоте подрыва БЧ, т.е. $R_u^\sigma = h_\sigma$, учитываются значения максимального избыточного давления во фронте ударной волны (ΔP) и удельного импульса фазы сжатия ($J_{y\sigma}$). Эти величины вычисляются по формулам Садовского М.А. [7]:

$$P = 0,95 \frac{(K_T \cdot G_{BB}^{\text{ЭКВ}})^{\frac{1}{3}}}{R_u^\sigma} + 3,9 \frac{(K_T \cdot G_{BB}^{\text{ЭКВ}})^{\frac{2}{3}}}{(R_u^\sigma)^2} + 3,9 \frac{(K_T \cdot G_{BB}^{\text{ЭКВ}})}{(R_u^\sigma)^3}; \quad (1)$$

$$J_{y\sigma} = \frac{(G_{BB}^{\text{ЭКВ}})^{\frac{2}{3}}}{R_u^\sigma} \cdot A_y, \quad (2)$$

где A_y – коэффициент, зависящий от высоты подрыва боеприпаса;

$$K_T = \frac{Q_{BB}}{Q_{ТНТ}};$$

$\frac{Q_{BB}}{Q_{ТНТ}}$ – удельная теплота взрыва заряда ВВ и тротила соответственно:

$$G_{BB}^{\text{ЭКВ}} = \begin{cases} G_{BB} & \text{при } \alpha_\sigma \geq 0,35; \\ G_{BB}(1,9\alpha_\sigma + 0,3) & \text{при } 0,1 \leq \alpha_\sigma < 0,35, \end{cases}$$

$\alpha_\sigma = \frac{G_{BB}}{G_\sigma}$ – коэффициент наполнения БЧ РШГ; G_{BB} , G_σ – масса заряда ТБС и БЧ РШГ соответственно, кг.

Согласно исследованиям [8] ЭЦ (агрегат) считается пораженным с вероятностью единица при выполнении следующего условия

$$(J_{y\sigma} - J^*)(\Delta P - \Delta P^*) \geq K, \quad (3)$$

где J^* , P^* – критические значения удельного импульса и максимального избыточного давления во фронте ударной волны; K – постоянная зависящая от характеристик ЭЦ (агрегата).

При попадании РШГ в контур ЭЦ (или при подрыве над нею) рассматривается возможность поражения этой же гранатой и этой же цели, за счет дистанционного действия её БЧ.

На втором этапе рассчитывается вероятность поражения ЭЦ для случая непопадания боеприпаса в контур цели. Сначала рассматривается возможность поражения ЭЦ фугасным действием.

Рассчитывается расстояние от точки подрыва БЧ РШГ до цели (R_u^σ) и на этом расстоянии вычисляются значения ΔP и $J_{y\sigma}$ по формулам приведенным выше, а также устанавливается факт поражения ЭЦ.

Если рассматриваемый объект представляет собой ЭЦ типа резервуар с топливом для случая, когда стрельба ведется по нескольким точкам прицеливания или нарядом гранат более одной, и от этого воздействия возник разлив топлива, то определяется вероятность воспламенения этого топлива по следующей зависимости:

$$P_3 = \begin{cases} 1, & \text{если } R_u^\sigma > R_{max}; \\ \frac{R_{max} - R_u^\sigma}{R_{max} - R_{min}}, & \text{если } R_{min} \leq R_u^\sigma \leq R_{max}; \\ 0, & \text{если } R_u^\sigma < R_{min}, \end{cases}$$

где

$$R_{min} = \begin{cases} 1,0^3 \sqrt{G_{BB}^{\text{ЭКВ}}}, & \text{для разлитого авиационного топлива;} \\ 0,15^3 \sqrt{G_{BB}^{\text{ЭКВ}}}, & \text{для разлитого корабельного топлива;} \end{cases}$$

$$R_{max} = \begin{cases} 2,2^3 \sqrt{G_{BB}^{\text{ЭКВ}}}, & \text{для разлитого авиационного топлива;} \\ 0,5^3 \sqrt{G_{BB}^{\text{ЭКВ}}}, & \text{для разлитого корабельного топлива;} \end{cases}$$

R_u^σ – расстояние от точки взрыва РШГ до разлитого топлива.

Возможность поражения ЭЦ осколочным действием БЧ РШГ рассматривается в следующей последовательности.

Рассчитываются границы угловых зон потока осколков в динамических условиях в системе координат, связанной с точкой подрыва БЧ, по зависимостям:

$$\varphi_{k1} = \arctan\left(\frac{\sin \varphi_{k-1}}{\cos \varphi_{k-1} + \frac{v_\sigma}{V_{OK}}}\right); \quad \varphi_{k1} = \arctan\left(\frac{\sin \varphi_k}{\cos \varphi_k + \frac{v_\sigma}{V_{OK}}}\right);$$

$$\varphi_k = \varphi_n - \Delta\varphi \cdot k,$$

где $\varphi_{кл}, \varphi_{кп}(\varphi_{k-1}, \varphi)$ – границы k -й угловой зоны потока поражающих элементов (ПЭ), отклонений влево и вправо в динамике (статике); φ_n – угол между начальной границей зоны разлета ПЭ и осью БЧ; $\Delta\varphi$ – шаг по углу разлета; V_{OK} – начальная скорость разлета ПЭ k -й угловой зоны; V_δ – скорость РШГ в момент подрыва БЧ.

Плотность потока ПЭ t -й массовой группы k -й угловой зоны на удалении от точки подрыва БЧ, равном 1 м, будет равна

$$\Delta_k^t = \frac{N_k^t}{2\pi(\cos \varphi_{кл} + \cos \varphi_{кп})}, \quad (4)$$

где N_k^t – количество ПЭ t -й массовой группы в k -й угловой зоне.

Для целей в форме параллелепипеда определяются грани, видимые из точки подрыва БЧ. Для ЭЦ в форме цилиндра за видимую грань принимается продольное сечение цилиндра.

Грани рассматриваемой ЭЦ (агрегата) разбиваются на элементарные ячейки, количество которых задается в исходной информации значениями $Ш_{X_{max}}^{\delta}, Ш_{Y_{max}}^{\delta}, Ш_{Z_{max}}^{\delta}$. Размеры ячеек, а следовательно их площади (S_j) будут определяться величинами граней ЭЦ и количеством разбиений

$$X_\delta = \frac{a_x^\delta}{Ш_{X_{max}}^{\delta}}, Y_\delta = \frac{a_y^\delta}{Ш_{Y_{max}}^{\delta}}, Z_\delta = \frac{a_z^\delta}{Ш_{Z_{max}}^{\delta}}.$$

Далее определяется расстояние от точки подрыва БЧ до центра элементарной ячейки

$$R_\delta^j = \sqrt{(X_\delta^j - X_\delta^u)^2 + (h_\delta + \frac{l_{БЧ}}{2} - Y_\delta^j)^2 + (Z_\delta^j - Z_\delta^u)^2}, \quad (5)$$

где $X_\delta^j, Y_\delta^j, Z_\delta^j$ – координаты центра элементарной ячейки; j, δ – индексы граней и элементарной ячейки; $l_{БЧ}$ – длина БЧ.

Рассчитываются координаты центра элементарной ячейки в системе координат, связанной с точкой подрыва БЧ:

$$\delta X_\delta^j = X_\delta^j - X_\delta^u; \quad \delta Y_\delta^j = Y_\delta^j - h_\delta - \frac{l_{БЧ}}{2}; \quad \delta Z_\delta^j = Z_\delta^j - Z_\delta^u.$$

Определяются направляющие косинусы отрезка, соединяющего точку подрыва БЧ с центром элементарной ячейки:

$$l_\delta^j = \frac{\delta X_\delta^j}{R_\delta^j}; \quad m_\delta^j = \frac{\delta Y_\delta^j}{R_\delta^j}; \quad n_\delta^j = \frac{\delta Z_\delta^j}{R_\delta^j}.$$

Находится угол между продольной осью БЧ и отрезком, соединяющего точку подрыва с центром элементарной ячейки

$$\varphi_\delta^j = \arccos(l_{\delta\delta} l_\delta^j + m_{\delta\delta} m_\delta^j + n_{\delta\delta} n_\delta^j),$$

где $l_{\delta\delta}, m_{\delta\delta}, n_{\delta\delta}$ – направляющие косинусы продольной оси БЧ в системе координат, связанной с точкой подрыва.

По условию $\varphi_{кл} \leq \varphi_\delta^j \leq \varphi_{кп}$ устанавливается факт накрытия элементарной ячейки потоком ПЭ k -й угловой зоны с начальной скоростью в динамике

$$V_{gk}^j = \sqrt{V_0^2 + V_\delta^2 + 2V_0 V_\delta \varphi_\delta^j}.$$

Скорость потока ПЭ t -й массовой группы k -й угловой зоны при встрече с плоскостью элементарной ячейки находится по формуле

$$V_{jk}^t = V_{gk}^j \cdot l^{-\alpha_t} R_\delta^j.$$

Рассчитывается угол встречи потока ПЭ k -й угловой зоны с плоскостью элементарной ячейки

$$\varphi_\delta = \frac{A_\delta^j l_\delta^j + B_\delta^j m_\delta^j + G_\delta^j n_\delta^j}{\sqrt{(A_\delta^j)^2 + (B_\delta^j)^2 + (G_\delta^j)^2 + (l_\delta^j)^2 + (m_\delta^j)^2 + (n_\delta^j)^2}}, \quad (6)$$

где $A_\delta^j, B_\delta^j, G_\delta^j$ – коэффициенты уравнения плоскости грани цели (агрегата).

Находится математическое ожидание числа ПЭ t -й массовой группы k -й угловой зоны попавших в уязвимую площадь элементарной ячейки

$$m_\delta^j = \frac{\Delta_k^t S_j \sin \varphi_\delta K_3}{(R_\delta^j)^2}.$$

Далее определяется суммарная площадь пробойн для цели от ПЭ всех массовых групп по всему углу разлета, которые пробивают эквивалентную толщину преграды ЭЦ ($H_{экв}^u$)

$$S_\Sigma = \sum_{\delta=1}^4 \cdot \sum_{j=1}^{J_{max}^\delta} m_\delta^j,$$

где J_{max}^δ – число элементарных ячеек на каждой грани цели; $\delta = 4$ – четыре боковые грани цели.

При условии $S_\Sigma > S_k^u$, цель считается пораженной с вероятностью единица, так как при этом произошел факт разлива топлива, количество которого можно подсчитать за любой промежуток времени.

Вероятность зажжения авиационного топлива при попадании одиночного стального осколка в жидкую фазу топливного бака при углах подхода к поверхности экрана α равно 10° , определяется по зависимости

$$P_3 = \begin{cases} 1, & \text{при } x \geq 2500; \\ \frac{x-1400}{1100}, & \text{при } 1400 < x < 2500; \\ 0, & \text{если } x \leq 1400, \end{cases}$$

где $x = K_\phi^2 \cdot \left(\frac{q_0}{\gamma_0}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot V_c$.

В случае попадания осколка в паровоздушную фазу топливного бака вероятность взрыва топлива принимается равной вероятности зажжения, то есть $P_{взр} = P_3$.

Вероятность зажжения топлива от осколочного и фугасного действия являются основным показателем эффективности действия боевого снаряжения. Тем не менее, при поражении топливонасыщенных объектов необходимо учитывать дополнительные поражающие факторы, возникающие при детонации (дефлорации) топливовоз-

душных смесей (облаков ТВС) вследствие разгерметизации (разрушения) резервуаров с топливом (углеводородных хранилищ) [8].

Учет данных показателей справедлив в случае, когда количество выстрелов $N \geq 2$, т.е. считается, что при $N=1$ вероятности $P_{взр}$ и P_3 равны нулю. При рассмотрении процесса огневого воздействия предполагается также частичная разгерметизация или полное разрушение оборудования, содержащего горючее вещество в газообразное или жидкой фазе, выброс этого вещества в окружающую среду образование облака топливо-воздушной смеси (ТВС), возможность инициирования ТВС и его взрывное превращение (горение или детонация) в облаке ТВС.

Расчеты, проводимые в данном блоке, позволяют определить вероятные степени поражения людей и степени повреждений зданий от взрывной нагрузки, генерируемой взрывом топливо-воздушных смесей.

Основными структурными элементами алгоритма расчетов следует рассматривать:

- определение массы горючего вещества, содержащегося в облаке;
- определение эффективного энергозапаса ТВС;
- определение ожидаемого режима взрывного превращения ТВС;
- расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных ударных волн для различных режимов;
- определение дополнительных характеристик взрывной нагрузки;
- оценка поражающего воздействия взрыва ТВС.

В соответствии с исследованиями, проведенными ранее [9] необходимо выполнить численное решение уравнения

$$\frac{k}{\Delta P(R) - P^*} = I(R) - I^*, \quad (7)$$

в котором константы k , P^* , I^* зависят от характера зоны поражения и определяются из таблицы.

Функции $\Delta P(R)$ и $I(R)$ рассчитываются по следующим формульным зависимостям [9]:

$$\Delta P = P_x \cdot P_0; \quad (8)$$

$$I = I_x \cdot (P_0)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{E^{\frac{1}{3}}}{C_0}, \quad (9)$$

где P_0 – атмосферное давление, Па; P_x – безразмерное давление; I_x – безразмерный импульс фазы сжатия; E – эффективный энергозапас ТВС, Дж; C_0 – скорость звука в воздухе, м/с.

Константы для определения радиусов зон поражения при взрывных ТВС

Характеристика действия ударной волны	$I^*, \text{Па} \cdot \text{с}$	$P^*, \text{Па}$	$k, \text{Па}^2 \cdot \text{с}$
Разрушение зданий			
Полное разрушение зданий	770	70100	886100
Граница области сильным разрушений: 50-75% стен разрушено или находится на грани разрушения	520	34500	541000
Граница области значительных повреждений: повреждение некоторых конструктивных элементов, несущих нагрузку	300	14600	119200
Граница области минимальных повреждений: разрывы некоторых соединений, расчленение конструкций	100	3600	8950
Полное разрушение остекления	0	7000	0
50% разрушение остекления	0	2500	0
10% и более разрушение остекления	0	2000	0
Поражение органов дыхания незащищенных людей			
50% выживание	440	243000	$1,44 \cdot 10^8$
Порог выживания (при меньшем значении, смертельные поражения людей маловероятны)	100	65900	$1,62 \cdot 10^7$

В случае детонации облака ТВС, расчет производится по следующим по формулам [8]:

$$P_x = \frac{0,125}{R_x} + \frac{0,137}{R_x^2} + \frac{0,023}{R_x^3} \pm 10\%; \quad (10)$$

$$I_x = \frac{0,022}{R_x} \pm 15\%, \quad (11)$$

в которых безразмерное расстояние R_x определяется выражением

$$R_x = \frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}}$$

Зависимости (10) и (11) справедливы для значений R_x больших величин $R_{кр} = 0,25$. В случае если $R_x < R_{кр}$ величина P_x полагается равной 18, а величина $I_x = 0,16$.

В случае дефлограционного взрывного превращения облака ТВС к параметрам, влияющим на величины избыточного давления и импульса положительной фазы, добавляются скорость распространения видимого фронта пламени (V_f) и степень расширения продуктов сгорания $(\sigma - 1) / \sigma$.

Безразмерные давление P_{x^1} и импульс фазы сжатия I_{x^1} определяются по соотношениям [8]:

$$P_{x^1} = \left(\frac{V_f}{C_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2}\right); \quad (12)$$

$$I_{x^1} = \left(\frac{V_f}{C_0}\right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma}\right) \cdot (1 - 0,4(\sigma - 1) \cdot \frac{V_f}{\sigma} \cdot C_0) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3}\right). \quad (13)$$

Последние два выражения справедливы для значений R_x , больших величин $R_{кр} = 0,34$; в противном случае вместо R_x в соотношения (12) и (13) подставляется величина $R_{кр}$.

Далее вычисляются величины P_{x^2} и I_{x^2} , которые соответствуют режиму детонации и рассчитываются по соотношениям (10) и (11). Окончательные значения P_x и I_x выбираются из условий:

$$P_x = \min (P_{x^1}, P_{x^2}); I_x = \min (I_{x^1}, I_{x^2}). \quad (14)$$

Таким образом, рассчитываются вероятности поражения всех ЭЦ из состава объекта, а также вероятности воспламенения (детонации) топлива как разлитого на земной поверхности, так и находящегося в резервуарах в жидком или газообразном (аэрозольном) состоянии в виде облака ТВС.

Исходя из полученных вероятностей поражения отдельных ЭЦ, для i -й реализации пусков определяется вероятность поражения объекта в целом.

Вероятность поражения неоднородного объекта в i -й реализации пусков ракет определяется согласно схеме уязвимости [7]:

$$P_{об_i}^* = 1 + \prod_{G_{ин}^{об}}^{G_{ин}^{об}} \left(1 - \prod_{I_k^{ин}}^{I_k^{ин}} P_{ц_i} \right), \quad (15)$$

где $G_{ин}^{об}$ – количество гипотез поражения неоднородного объекта; $I_k^{ин}$, $I_k^{ин}$ – совокупность ЭЦ, составляющих гипотезу поражения неоднородного объекта.

Вероятность поражения однородного объекта целесообразно рассчитывать с использованием произведения функции

$$\varphi_k(Y) = \prod_{ц=1}^ц (g_{ц_i} + P_{ц_i} Y),$$

где $g_{ц_i}$, $P_{ц_i}$ – вероятность поражения и непоражения $ц$ -й ЭЦ объекта.

Исходя из общей теоремы о повторении опытов

$$\prod_{ц=1}^ц (g_{ц_i} + P_{ц_i} Y) = \sum_{i=0}^ц P_{L,ц} \cdot Y^L,$$

в которой левая и правая части равенств представляют собой одну и ту же функцию (Y). Раскрыв скобки в левой части и выполнив приведение подобных членов, получим вероятности $P_{0,ц}$; $P_{1,ц}$; $P_{2,ц}$... $P_{ц,ц}$ как коэффициенты соответственно при нулевой, первой и т.д. степенях Y .

Тогда вероятность поражения однородного объекта при условии, что из его состава должно быть выведено из строя не менее требуемого количества ЭЦ ($ц_{тp}$) будет равна

$$P_{об}^* = \sum_{L=ц_{тp}}^ц P_{L,ц}. \quad (16)$$

Таким образом, представленный подход позволяет оценить эффективность поражения топливонасыщенных объектов поражения РШГ, БЧ которых снаряжаются как конденсированными, так и термобарическими или пластизольными взрывчатыми веществами, а также наряд средств необходимых для поражения целей с уровнем поражения не менее требуемого.

Список литературы

1. Осколочное действие боеприпасов: учебное пособие / С.С. Рассоха, В.В. Селиванов; под общ. ред. В.В. Селиванова. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 209 с.
2. Боеприпасы: учебник: в 2 т. / под общей ред. В.В. Селиванова. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.
3. Оценка эффективности поражающего действия артиллерийских боеприпасов основного назначения. учеб. пособие для вузов / А.А. Ганин, Н.Н. Голубинский Ю.М., Горобец А.А. [и др.]; под общ. ред. А.А. Ганина. – Пенза: ПАИИ, 2003. 74 с.
4. Действие артиллерийских боеприпасов: учеб. пособие / П. Н. Дерябин [и др.]. Пенза: ПАИИ, 2004. 251 с.
5. Сборник методик оценки эффективности поражающего действия средств поражения: учеб. пособие для вузов / А.А. Ганин, Н.Н. Борисов, Ф.А. Савченко [и др.]; под общ. ред. А.А. Ганина. Пенза: ПАИИ, 2013. 184 с.
6. Основные предпосылки к созданию боеприпасов повышенной мощности взрыва // Дзержинск: Инженерная записка, ФГУП «ГосНИИмаш», 1999. 55 с.
7. Система исходных данных по характеристикам уязвимости типовых наземных целей для оценки эффективности осколочного и фугасного действий боеприпасов артиллерии Сухопутных войск. М.: в/ч 42261, 1990. 147 с.
8. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливовоздушных смесей (с изменениями и дополнениями). РД 03-409-01. (Введена в действие постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.01 № 25). 19 с.
9. Самородский М.В. Метод экспериментального определения импульса, передаваемого преграде при контактом подрыве взрывного устройства. М.: Сборник трудов 3 ЦНИИ МО РФ, кн. 3, 2003. С. 121-128.
10. У. Бейкер, П. Кокс и т.д. Взрывные явления. Оценка и последствия. Перевод с английского под ред. акад. Я.Б. Зельдовича и д.ф.н. Б.Е. Гельфанда. М.: Изд. «Мир», 1986. 319 с.
11. Садовский М.А. Геофизика и физика взрыва. М.: Наука, 1999. 334 с.

Савченко Федор Анатольевич, д-р техн наук, профессор, Savchenkofedan@yandex.ru, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения,

Голенко Александр Сергеевич, соискатель, главный эксперт научно-технического комитета, Россия, Москва, Главное ракетно-артиллерийское управление Министерства обороны Российской Федерации,

Воротилин Михаил Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, проректор ТулГУ, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Земцова Ольга Григорьевна, канд. техн. наук, доцент, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,

Елистратова Анна Григорьевна, старший преподаватель, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ONE OF THE APPROACHES TO AN ESTIMATION OF THERMAL INFLUENCE OF BATTLE (DASHING) PARTS OF VOLUMETRIC EXPLOSION OF MANUAL JET ASSAULT ROCKETS

F.A. SAVCHENKO, A.S. GOLENKO

One of the approaches in one of the approaches in one of the approaches in one& of approaches in which battle(dashing) parts are equipped condensed, plastic or thermal explosive structures ensuring a defeat by splinters, demolition and thermal influence on the purpose.

Keywords: an estimation of thermal influence, manual jet assault rocket, battle(dashing) part, infra-red radiation, intensity of thermal radiation.

Savchenko Fedor Anatolyevich, doctor of technical sciences, professor, Savchenkofedan@yandex.ru, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics,

Golenko Alexander Sergevich, applicant, chief expert of the scientific and technical committee, Russia, Moscow, Main Rocket and Artillery Directorate of the Ministry of Defense of the Russian Federation,

Vorotilin Mikhail Sergeyeovich, doctor of technical sciences, professor, vice-rector of Tula State University, Tula, Russia, Tula State University,

Zemtsova Olga Grigoryevna, candidate of technical sciences, docent, Russia, Penza, Penza State University of Architecture and Construction,

Elistratova Anna Grigoryevna, senior lecturer, Russia, Penza, Penza State University of Architecture and Construction

УДК 621.396

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-64-65

**АНАЛИЗ ДЕМАСКИРУЮЩИХ ПРИЗНАКОВ БРОНЕТАНКОВЫХ ЦЕЛЕЙ
В РАДИОЛОКАЦИОННОМ ДИАПАЗОНЕ**

Д.В. Желонкин, Е.И. Минаков, А.Ю. Тычков

Приведен анализ демаскирующих признаков бронетанковых целей в радиолокационном диапазоне, который показал, что расширение пространства признаков за счет привлечения дополнительных ПХ (оптимальных поляризацій и дескрипторов), позволяет улучшить информационные возможности поляризационных характеристик объектов локации для решения задач селекции-распознавания по сравнению с вариантом использования только носительных поляризационных параметров.

Ключевые слова: амплитуда рассеянного сигнала, флуктуационный характер, деполаризация, анализ, сигнал.

Согласно многочисленным экспериментальным и теоретическим исследованиям рассеивающих свойств подстилающих поверхностей [1,2,3,4,5] и результатов, представленных в [4], ЭПР земной поверхности носит флуктуационный характер, причем эти флуктуации обусловлены ракурсом облучения и типом поверхности, временем года и так далее. Изменение ЭПР в зависимости от различных факторов наиболее полно описывается ее плотностью распределения вероятностей. Наиболее достоверные сведения о распределениях ЭПР земной поверхности имеются на основе данных экспериментов [2,3,4,5]. При этом существует ряд теоретических моделей, позволяющих с определенной степенью вероятности описать статистическое распределение ЭПР некоторых типов поверхностей.

При оценке законов распределения флуктуации, отраженных от земной поверхности сигналов ставится задача построения вероятностной модели ее рассеивающих свойств. Согласно релеевской статистической модели отраженный сигнал формируется совокупностью независимых отражателей, имеющих случайные амплитуды и фазы. Если амплитуды отраженных сигналов в среднем совпадают между собой, то флуктуации амплитуды суммарного отраженного сигнала согласно центральной предельной теореме распределены по нормальному закону, а ЭПР сигнала по экспоненциальному распределению вероятностей:

$$W(\sigma) = \frac{1}{\bar{\sigma}} \exp\left(-\frac{\sigma}{\bar{\sigma}}\right), \quad (1.1)$$

где σ - значение ЭПР поверхности, $\bar{\sigma}$ - среднее значение ЭПР. В качестве условий применимости центральной предельной теоремы в релейской модели принимается малость амплитуды каждого отраженного сигнала по отношению к суммарному, и взаимная независимость отражателей. С помощью релейской модели описываются ЭПР растительных покровов и морской поверхности.

Зная плотность распределения вероятностей (1.1) можно определить вероятность нахождения какого-либо значения ЭПР в интервале $(\sigma \div \sigma + d\sigma)$. Используя это свойство функции распределения можно определить статистические параметры РЛС, характеризующие ее способность в обнаружении цели при действии шумовых сигналов, обусловленных мешающими отражениями земной поверхности. Как известно в РЛС с пороговым обнаружением целей в основе процесса обнаружения лежит установление порогового уровня на выходе приемника.

При выборе очень низкого порогового значения возникает ложное обнаружение целей, а при выборе очень высокого порога не исключается ситуация пропуска цели. Соответствующий пороговый уровень приемника РЛС выбирают на основе компромиссного решения, задавая приемлемыми значениями вероятностей правильного обнаружения цели и ложной тревоги. Так как согласно определению ложная тревога означает превышение шумом порогового уровня, то вероятность ложной тревоги представляет собой вероятность нахождения значения огибающей шума в диапазоне $(u_{пор} \div \infty)$, т. е. с использованием плотности распределения вероятностей огибающей шума [2]:

$$p(u) = P(u_{пор} < u < \infty) = \int_{u_{пор}}^{\infty} p(u) du, \quad (1.2)$$

где u - значение огибающей выходного сигнала приемника.

Если учесть, что пороговому значению огибающей соответствует пороговое значение ЭПР, то с учетом экспоненциального распределения (1.1) получим вероятность ложной тревоги РЛС в виде:

$$P_{л.т.} = \int_{\sigma_{пор}}^{\infty} p(\sigma) d\sigma = \frac{1}{\bar{\sigma}} \int_{\sigma_{пор}}^{\infty} \exp\left(-\frac{\sigma}{\bar{\sigma}}\right) d\sigma. \quad (1.3)$$

С учетом релейской модели независимых отражателей, среднее значение ЭПР подстилающей поверхности в (1.3) определяется умножением удельной ЭПР на площадь элемента разрешения РЛС:

$$\bar{\sigma} = \tilde{\Sigma} S_0. \quad (1.4)$$

Площадь элемента разрешения импульсной РЛС определяется параметрами приемопередающей системы и находится из следующего соотношения:

$$S_0 = \frac{c \tau_u \Delta\theta}{2 \cos(\beta)} r, \quad (1.5)$$

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света, τ_u - длительность импульса зондирующего сигнала, $\Delta\theta$ - ширина ДНА по уровню половинной мощности, β - угол места в системе координат, r - расстояние от РЛС до лоцируемого участка.

Для анализа дополнительных селективных признаков используют экспериментальные данные.

Информативным признаком является флуктуирующий характер отраженного от цели сигнала, связанный с наличием на объекте локальных центров рассеяния, которые могут быть выявлены при частотной манипуляции зондирующего сигнала. Эксперимент, подтверждающий флуктуации рассеянного объектом сигнала был проведен для зондирующего сигнала со ступенчатым изменением частоты с интервалом девиации 200 МГц [4,5].

В качестве лоцируемого объекта выступал отечественный танк Т-80, расположенный на фоне травяного покрова. Сканирование производилось построчно с шаговым увеличением угла наклона к горизонту. При построчном сканировании сначала оказывалась подстилающая поверхность (травя, высокий кустарник), затем танк и опять подстилающая поверхность. Частота зондирующего сигнала при ступенчатом изменении частоты составляла: $f_1 = 36$ ГГц и $f_2 = 35.2$ ГГц. Отраженный сигнал записывался в аналоговом виде на магнитную ленту двухканального магнитофона с разделением каналов по частоте f_1 и f_2 соответственно [1,2,5].

Записанные реализации сигналов разбивались на участки, соответствующие положению пятна ДН антенны; при его перемещении по поверхности приблизительно на 1 м. Сигналы в каждом канале усреднялись по выборке и сравнивались между собой. Для удобства был выбран логарифмический масштаб.

На рис. 1.9 приведено распределение амплитуды рассеянного сигнала на двух частотах f_1 и f_2 , полученное при облучении танка Т-80. В числителе представлено отношение на частотах f_1 и f_2 в логарифмическом масштабе, в знаменателе - амплитуда максимального сигнала либо на частоте f_1 , либо на f_2 . Анализ результатов показал, что при интегральной обработке (усреднение при облучении на двух частотах) наблюдается устойчивый контраст объекта на фоне поверхности.

Флуктуации амплитуд отраженного сигнала, при нахождении в пятне ДНА танка, в значительной степени сглажены. На отдельной же обработке сигналов подчеркивается флуктуационный характер отраженных от танка Т-80 сигналов, причем флуктуации отраженных от танка сигналов достигают 18-22 дБ. При нахождении пятна ДНА на подстилающей поверхности колебания амплитуд сигналов не превышают 2-4 дБ.

Основной целью экспериментов по выявлению деполаризации рассеянных сигналов является оценка разности $\Delta \tilde{\Sigma}$ между значениями удельных ЭПР сигналов на согласованной и ортогональной поляризациях. В качестве примера в таблице 1.9 приведены значения для объекта $\Delta \tilde{\Sigma}$ и некоторых поверхностей. Согласно этим данным сложный объект обладает лучшими деполаризующими свойствами по сравнению с земной поверхностью, что может служить одним из основных информативных признаков при обнаружении цели.

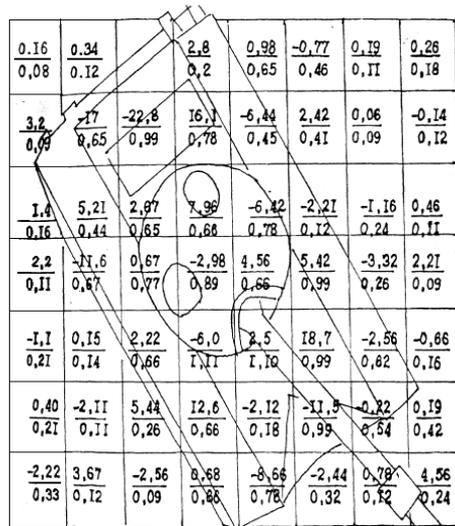


Рис. 1.9. Распределение амплитуды сигнала, отраженного от танка Т-80 на фоне травяного покрова

Таблица 1.9

Деполаризующие свойства различных объектов

$\Delta \tilde{\Sigma}$, дБ	Объект
3-6	Танк Т-80
8-14	Трава
17	Пашня
10-20	Асфальт
5-6	Лес

В рамках работы [3,4] проводились экспериментальные измерения полной поляризационной матрицы рассеяния для наземных целей находящихся на фоне различных земных покровов. Аппаратура 8-миллиметрового экспериментального поляриметра позволяла производить запись и последующую обработку сигналов, отраженных от участка земной поверхности, соответствующего 8-ми элементам разрешения по дальности, в одном из которых находился неподвижный объект. В процессе обработки определялись следующие параметры:

- коэффициент деполаризации $L = 20Lg \frac{E_{26}}{E_{22}}$;
- коэффициент асимметрии $Z = 20Lg \frac{E_{22}}{E_{66}}$;
- параметр $L1 = \left| \dot{\lambda}_1 \right|$ – мера заметности цели ($(L1)^2$ – максимум ЭПР цели для оптимальной поляризации);
- коэффициент анизотропии $q = \frac{\dot{\lambda}_1 - \dot{\lambda}_2}{\dot{\lambda}_1 + \dot{\lambda}_2}$;
- дескриптор $\gamma = \arctg \sqrt{\frac{|\lambda_2|}{|\lambda_1|}}$, $0 \leq \gamma \leq 45^\circ$ γ - "угол поляризации или характеристический угол";

- τ_m – мера несимметричности цели или угол спиралевидности, определяемый из выражения:
 $\sin(2\tau_m) = \frac{(2S_{26}^2 \sin(2\varphi_{26}))}{(S_{22}^2 + S_{66}^2)}$, при этом $-45^\circ \leq \tau_m \leq 45^\circ$.

Угол τ_m также является углом эллиптичности максимальной поляризации m .

- угол ориентации цели ψ или P_{si} - угол наклона оси эллипса первой собственной поляризации; может быть рассчитан из выражения:

$$tg(2\psi) = \frac{2S_{26}^2 \cos(2\varphi_{26})}{(S_{22}^2 - S_{66}^2)}, \quad -90^\circ \leq \psi \leq 90^\circ;$$

- комплексный параметр $\Omega_0 = \frac{L1^2}{8\cos^4(\gamma)}$.

Далее для рассчитанных характеристик определялись статистические характеристики: средние значения, дисперсии, коэффициенты эксцесса, асимметрии и вариации. Были построены гистограммы, проверялась значимость гипотез о подчинении экспериментальных плотностей распределения вероятностей (ПРВ) для амплитуд отраженных сигналов, поляризационных характеристик теоретическим законам распределения вероятностей (ЗРВ). Пример полученных экспериментальных данных приведен на рис. 1.10, 1.11.

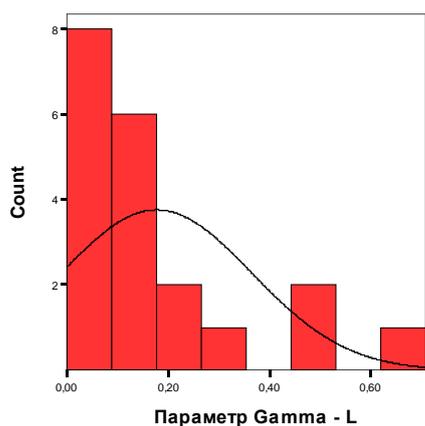


Рис. 1.10 а - Корреляция параметров γ - L для фона

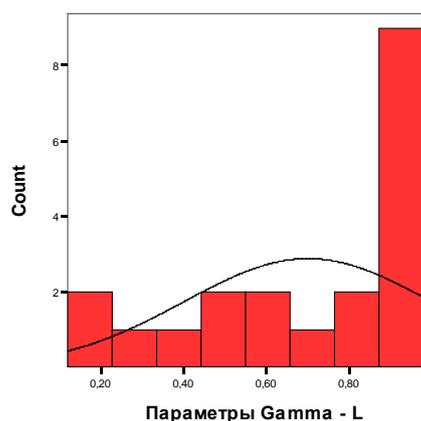


Рис. 1.10 б - Корреляция параметров γ - L для объектов

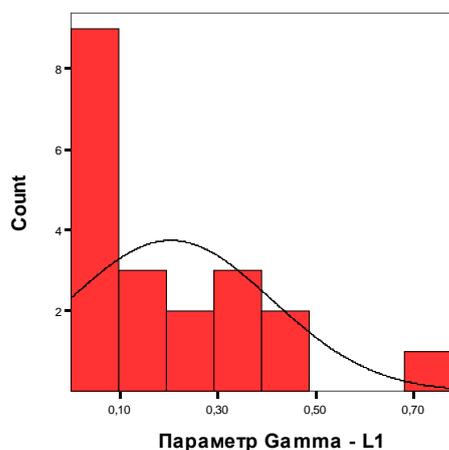


Рис. 1.11 а - Корреляция параметров γ - L1 для фона

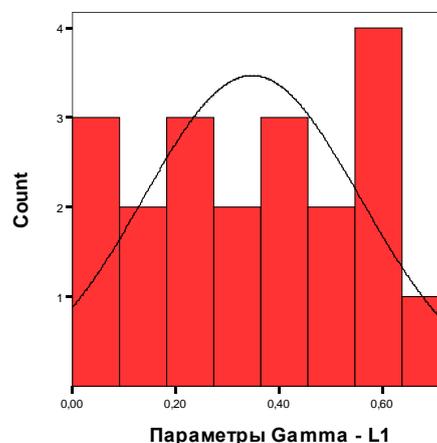


Рис. 1.11 б - Корреляция параметров γ - L1 для объектов

Таким образом, в процессе проведения исследований по измеренной ПМР были определены оптимальные поляризации сигналов, отраженных от различных объектов, и рассчитаны дескрипторы целей, полностью характеризующие поляризационные свойства лоцируемых объектов, и имеющие, в отличие от ПМР, которая по существу является математическим описанием поляризационных свойств объектов, явную связь с физическими признаками целей.

Анализ гистограмм амплитуд отраженных от объектов локации сигналов подтвердил правильность выбора для их аппроксимации ЗРВ Накагами. Анализ же гистограмм поляризационных параметров показывает, что для большинства из них должно быть принято предположение об их негауссовости, и что поляризационные характеристики объектов имеют весьма широкий спектр типов ЗРВ, от нормального и логнормального до арксинуса и Накагами. Полученный банк данных гистограмм исследуемого множества ПХ ПМС может быть использован при построении статистических моделей ПХ ПМС для различных объектов и их ракурсов.

Анализ данных опытов показал, что расширение пространства признаков за счет привлечения дополнительных ПХ (оптимальных поляризаций и дескрипторов), позволяет улучшить информационные возможности поляризационных характеристик объектов локации для решения задач селекции-распознавания по сравнению с вариантом использования только относительных поляризационных параметров.

Список литературы

1. Акиншин Н.С., Пафилов Е.А., Смыляев Д.В., Синтез многоточечной модели объекта локации на фоне подстилающей поверхности // В сборнике материалов Всероссийской НТК «Пути повышения эффективности применения ракетно-артиллерийских комплексов методов их эксплуатации и ремонта» ВА МТО (г. Пенза), Пенза: фил. ВА МТО (г. Пенза), 2021. С.186-190.
2. Басалов Ф.А. Исследование тонкой структуры сигналов, отраженных наземными и надводными протяженными объектами, с целью повышения эффективности артиллерийских радиолокационных средств и управляемых снарядов: дис. ... д-ра техн. наук / Басалов Ф.А. Тула, 1975. 415 с.
3. Смыляев Д.В., Федянин Н.Д., Пафилов Е.А. Модели процессов разведки целей оператором бронетанковой техники с помощью оптико-электронных приборов наблюдения // Известия Тульского государственного университета. 2021. Вып. 9. С. 121-130.

4. Пафилов Е.А., Мамон Ю.И., Смыляев Д.В. Влияние блестящих точек на положение фазового центра протяжённого радиолокационного объекта // Труды российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, серия: научные сессии Тульской областной организации выпуск XXXVII. Тула: ТулГУ, 2019. С. 57-64.

5. Григорян Д.С., Лайко Е.А., Бушуев А.Ф., Торбин С.А. Принципы обратной моноимпульсной радиолокации в задачах построения помехоустойчивых и живучих систем самонаведения/ Вестник концерна ПВО "Алмаз – Антей. 2015. №1 (13).

Желонкин Дмитрий Васильевич, адъюнкт, dizhelonkin58l@yandex.ru, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения,

Минаков Евгений Иванович, д-р техн. наук, профессор, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Тычков Александр Юрьевич, д-р техн. наук, заведующий кафедрой, tychkov-a@mail.ru, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет

ANALYSIS OF THE UNMASKING FEATURES OF ARMORED TARGETS IN THE RADAR RANGE

E.I. Minakov, A.Y. Tychkov, D.V. Zhelonkin

The analysis of the unmasking features of armored targets in the radar range is presented, which showed that the expansion of the feature space by attracting additional characteristics (optimal polarizations and descriptors) makes it possible to improve the information capabilities of the polarization compared with the option of using only relative polarization parameters.

Key words: scattered signal amplitude, fluctuation character, depolarization, analysis, signal.

Zhelonkin Dmitry Vasilyevich, adjunct, Dizhelonkin58@yandex.ru, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics,

Minakov Evgeny Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Russia, Tula, Tula State University,

Tychkov Alexander Yurievich, doctor of technical sciences, head of the department, tychkov-a@mail.ru, Russia, Penza, Penza State University

УДК 623.4

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-68-69

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В КОМПОЗИТНОЙ ГИЛЬЗЕ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ТРЕЩИНЫ В ОБЛАСТИ КОНТАКТА МАТЕРИАЛОВ

Д.В. Бакланов, Е.И. Минаков, А.С. Ишков

В данной статье изложена математическая модель расчета коэффициента интенсивности напряжения в композитной составной гильзе. Рассмотрена проблема трещинообразования в области контакта различных материалов композитной гильзы.

Ключевые слова: аппроксимирующий контур, сингулярность, деформация сдвига, критерий разрушения Ирвина.

В процессе быстрой деформации материала его механические свойства могут измениться по сравнению со свойствами, полученными при статических испытаниях. Для расчетов композиционной гильзы мы должны учитывать влияние скорости трещинообразования на свойства используемых материалов. Таким образом, в статье были изучены коэффициенты интенсивности напряжений в области трещинообразования.

Напряжения и деформации в непосредственной близости от вершины острой трещины пропорциональны $\frac{K}{\sqrt{r}}$, где K – коэффициент интенсивности напряжений, r – расстояние данной точки от вершины. При этом

напряжение в вершине трещины имеет особенность вида $\frac{1}{\sqrt{r}}$ (корневую). Прямые методы определения коэффициентов интенсивности напряжений методом конечных элементов используются для оценки напряжений или смещений в области вершины трещины. При этом очевидно, что точность результатов определения коэффициентов интенсивности напряжений с использованием метода конечных элементов зависит от того, насколько точно моделируется поле напряжений и деформаций в окрестности вершины трещины. Обычные элементы конечных элементов, построенные на основе представления поля смещений с использованием полиномов с целыми степенями, могут затруднять точное моделирование. Для устранения этой проблемы в сетку вводятся один или несколько специальных элементов, которые моделируют сингулярность напряжений. Таким образом, распределение смещений вдоль этой области определяется соответствующим выражением.

$$u_i = C_1 + C_2\sqrt{r} + C_3r. \quad (1)$$

Пусть $u_i(0), u_i(L/4), u_i(L)$ – компоненты перемещения узла в вершине трещины, промежуточного узла, сдвинутого на четверть длины стороны, и углового узла соответственно. Здесь L – длина стороны, расположенной вдоль луча с началом в вершине трещины, а координата r отсчитывается от вершины. Тогда константы в выражении для распределения перемещений могут быть записаны в виде

$$C_1 = u_i(0), C_2 = \frac{1}{\sqrt{L}} [4u_i(L/4) - u_i(L) - 3u_i(0)]. \quad (2)$$

$$C_3 = \frac{1}{L} [2u_i(L) + 2u_i(0) - 4u_i(L/4)]. \quad (3)$$

Величина C_1 отражает перемещение вершины трещины, C_2 – ту часть перемещения, которая соответствует асимптотике, C_3 – постоянную деформацию и вращение тела как целого. Приравнявая все члены и считая $u_i(0)$ равным нулю, получаем

$$K_1 = \frac{2G\sqrt{2\pi}}{F_i(\theta)\sqrt{L}} [4u_i(L/4) - u_i(L)]. \quad (4)$$

Часто используемым способом выбора функции перемещений в пределах элемента является задание их в параметрической форме с использованием координат $-1 \leq \xi, \eta \leq 1$ следующим образом:

$$u = \sum N_i(\xi, \eta)u_i, \quad (5)$$

где u – вектор перемещений в произвольной точке с компонентами по осям u_x, u_y ; u_i – перемещение узлов; N_i – интерполирующие функции формы.

Для линейного четырехугольного элемента функции формы равны

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 - \xi\xi_i)(1 - \eta\eta_i), \quad (6)$$

где ξ_i, η_i – локальные координаты узлов. В этом случае перемещения есть линейные функции координат, а сам элемент называют линейным.

Эти функции использовались для описания формы трещины, которая проходит через границу между двумя средами – основным материалом и основанием гильзы. Конечно-элементарная модель части составной композитной гильзы и наложенной сетки в месте контакта материала представлены на рис. 1.

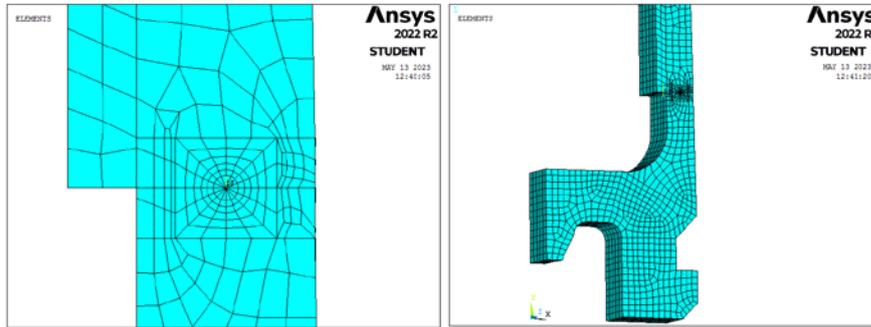


Рис. 1. Сетка у вершины трещины и на поверхности охватывающего квадрата

При проведении моделирования горения пороховых газов в полости композитной гильзы был сделан вывод что на контакте соединения двух материалов происходит сингулярность напряжений и соответственно повышается вероятность образования трещины и разрыва материала.

Совмещение двух соседних узлов четырехугольного элемента дает треугольный элемент, показанный на рис. 2. Для него распределение перемещений можно записать следующим образом

$$u = (1 - \rho)u_1 + \frac{1}{2}\rho(1 - \eta)u_2 + \frac{1}{2}\rho(1 + \eta)u_3, \quad (7)$$

где введено обозначение $\rho = \frac{1 + \xi}{2}$. Заменяя далее параметр координаты ρ на ρ^λ , получим (λ – степень асимптотики перемещений в окрестности вершины).

$$u = (1 - \rho^\lambda)u_1 + \frac{1}{2}\rho^\lambda(1 - \eta)u_2 + \frac{1}{2}\rho^\lambda(1 + \eta)u_3 = \quad (8)$$

$$u_1 + \frac{1}{2}\rho^\lambda(1 - \eta)(u_2 - u_1) + \frac{1}{2}\rho^\lambda(1 + \eta)(u_3 - u_1)$$

Для описания распределения перемещений в вершине трещины следует положить $\lambda = \frac{1}{2}$. При этом

$$u = u_1 + \frac{L_2(u_2 - u_1) + L_3(u_3 - u_1)}{\sqrt{L_2 + L_3}}. \quad (9)$$

Здесь так называемые L – координаты связаны с локальными координатами соотношениями

$$L_2 = \rho \frac{1-\eta}{2}, L_3 = \rho \frac{1+\eta}{2}. \quad (10)$$

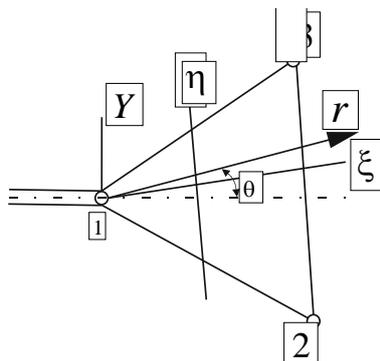


Рис. 2. Треугольный элемент

В общем случае роста трещины поток упругой энергии G в ее вершину может быть выражен следующей формулой

$$G = \frac{1-\nu}{2\mu} K_I^2 + \frac{1-\nu}{2\mu} K_{II}^2 + \frac{1}{2\mu} K_{III}^2 = \frac{1}{2} \int_0^{l^+} -\sigma_{ij} n_j^+ \frac{\partial u_i^+}{\partial l} dx + \frac{1}{2} \int_0^{l^-} -\sigma_{ij} n_j^- \frac{\partial u_i^-}{\partial l} dx. \quad (11)$$

Приток энергии в вершину трещины будет определяться через коэффициенты интенсивности напряжений

$$G = G_I + G_{II} = \frac{1}{E} \left[\left(K_I^{(1)} + K_I^{(2)} \right)^2 + \left(K_{II}^{(1)} + K_{II}^{(2)} \right)^2 \right]. \quad (12)$$

Траектория аппроксимирующего контура не обязательно проходит исключительно через узлы сингулярных элементов, так как выбор контура может быть достаточно произвольным. Для вычисления номеров узлов вводим параметры n_i, n_j, n_k , представленные на рис. 3.

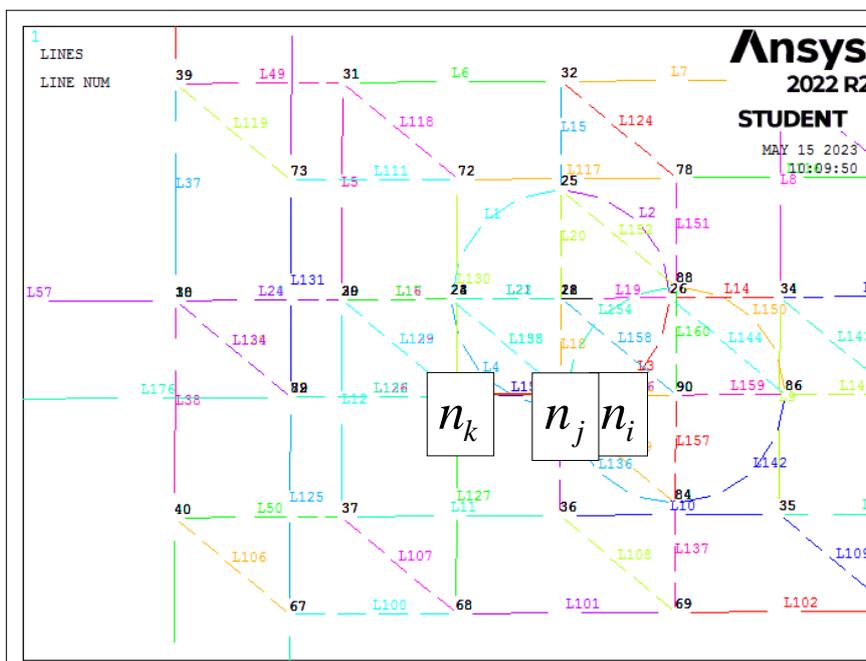


Рис. 3. Размещение параметров n_i, n_j, n_k на берегах трещины на стыке донной части и тела гильзы

Путем использования метода конечных элементов для вычисления значений напряжений и смещений в области близ вершины трещины, можно определить коэффициенты интенсивности напряжений K_I, K_{II}, K_{III} . Ясно, что для получения точных результатов необходимо использовать специальные сингулярные элементы. На рис. 4 представлены значения коэффициентов интенсивности напряжений по которым $K_I \neq 0$, а коэффициенты $K_{II}, K_{III} = 0$, как и должно быть для трещины отрыва. В данном случае $K_I = 0,17455E12$.

На рис. 5 представлен численный результат значений коэффициентов напряжений у стали и полиамида при их разрыве

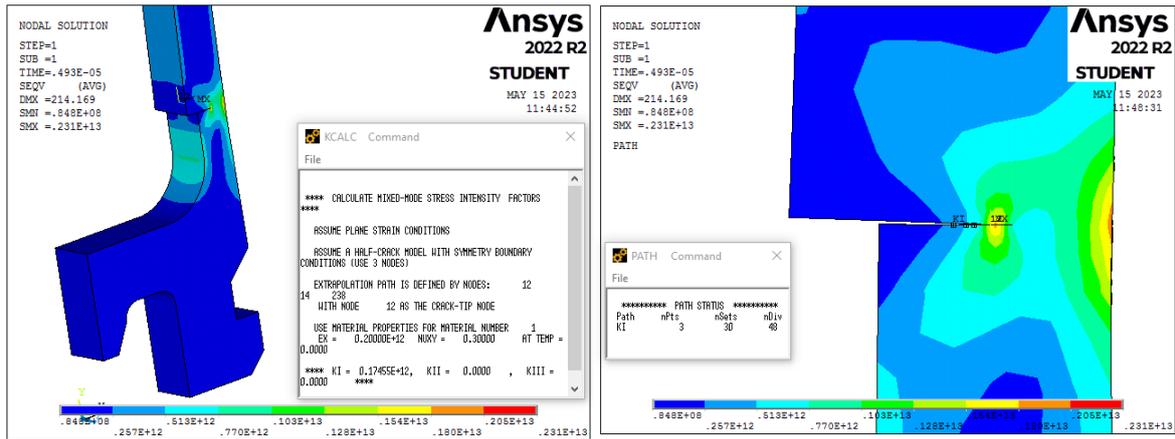


Рис. 4. Значения коэффициентов интенсивности напряжений в области разрыва трещины композитной составной гильзы

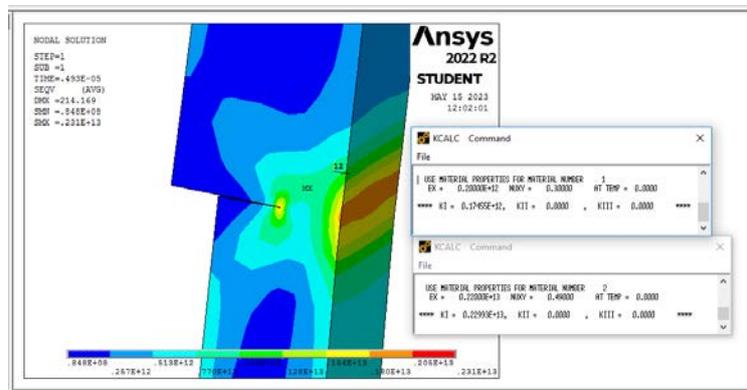


Рис. 5. Значения коэффициентов интенсивности напряжений в области разрыва трещины у стали и полиамида композитной составной гильзы

Коэффициент K_I означает симметричное деформирование. Материал сопротивляется разрыву и для того чтобы его преодолеть, коэффициент интенсивности напряжений должен достичь максимального значения, обозначаемого K_{IC} . В этом состоит критерий разрушения Ирвина $K_I \leq K_{IC}$.

Предельный (критический) коэффициент интенсивности напряжений K_{IC} , этот параметр, известный как вязкость разрушения, является механической характеристикой материала, которая оценивает его способность противостоять распространению трещины при хрупком разрушении.

Коэффициент K_{II} отражает обратно симметричное нагружение относительно линии трещины; это трещина поперечного сдвига – деформация сдвига происходит поперек фронта трещины. Сопротивление материала такому виду деформации обозначено $K_{II} \leq K_{IIC}$, где K_{IIC} – вязкость разрушения для трещины второго типа.

Для трещины третьего типа, коэффициент K_{III} отражает обратно симметричное нагружение вдоль фронта трещины; это трещина продольного сдвига – деформация сдвига параллельна фронту трещины. Критерий разрушения запишется аналогично предыдущим $K_{III} \leq K_{IIIC}$, где K_{IIIC} – вязкость разрушения при продольном сдвиге. Касательные напряжения и опоры главных напряжений полученных результатов представлены на рис. 6 и рис. 7.

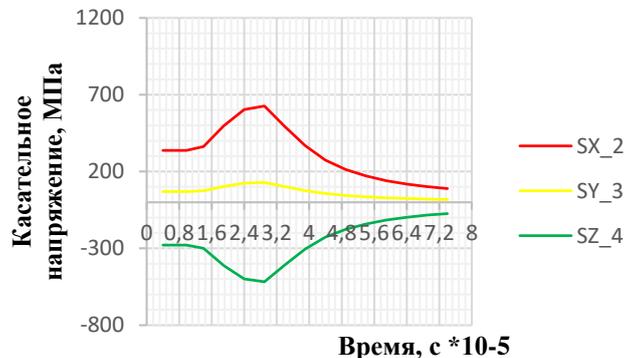


Рис. 6. Касательные напряжения

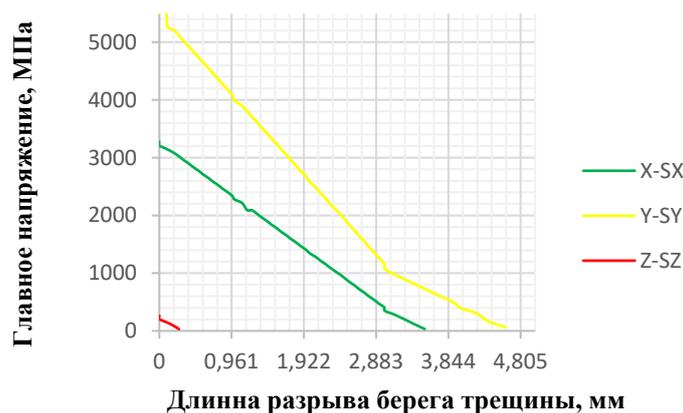


Рис. 7. Эпюры главных напряжений (Па) на продолжении трещины по оси симметрии: X-SX, Y-SY, Z-SZ

Выводы. Поскольку коэффициенты напряжений есть результат решения задач линейной теории упругости, то справедлив принцип суперпозиции. Это означает, что произвольную нагрузку можно представить в виде симметричной и обратно симметричных составляющих. Из этого следует, что численные методы по заранее созданным алгоритмам на основе определенных моделей отражают именно эту модель и не всегда способны гарантировать достоверность результатов.

Список литературы

1. Муйземнек А. Ю., Морозов Е. М., Шадский А.С. Ansys в руках инженера//Механика хрупкого разрушения. 2010. М.: ЛЕНАНД–456 с.
2. Плитов И. С., Полилов А. Н., Татусь Н. А. Компьютерное моделирование рациональной структуры криволинейного армирования профилированных композитных элементов // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2013. №. 4. С. 73 – 79.
3. Дудченко А.А., Еллатьевский А.Н., Хворостинский А.И. Учебное пособие по проектированию и расчету тонкостенных конструкций из композиционных материалов. М.: МАИ, 1985 35 с.
4. Зиновьев П.А., Смердов А.А. Оптимальное проектирование композитных материалов: Учебное пособие по курсу «Проектирование композитных конструкций. Ч. II». М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 103 с.
5. Моссаковский П.А., Костырева Л.А. О новом способе экспериментального исследования материалов на динамический сдвиг при высокоскоростном деформировании. Проблемы прочности и пластичности, издательство ФГАОУ ВПО «ННГУ им. Н.И. Лобачевского» (Нижний Новгород), том 80, № 1, С. 127 – 135.
6. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Том. 2. М.: Наука, 1970. 492 с.

Бакланов Дмитрий Владимирович, адъюнкт, baklanov90@yandex.ru, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения (г. Пенза),

Минаков Евгений Иванович, д-р техн. наук, профессор, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Ишков Антон Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, asihkov@mail.com, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет

A MATHEMATICAL MODEL FOR COLCULATING THE STRESS INTENSITY COEFFICIENT IN A COMPOSITE SLEEVE DURING THE FORMATION OF A CRACK IN THE CONTACT AREA OF MATERIALS

D.V. Baklanov, E.I. Minakov, A.S. Ishkov

This article presents a mathematical model for calculating the stress intensity coefficient in a composite sleeve. The problem of cracking in the contact area of various materials of a composite sleeve is considered.

Key words: approximating contour, singularity, sovig deformation, the Irwin fracture criterions.

Baklanov Dmitry Vladimirovich, adjunct, baklanov90@yandex.ru, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics (Penza),

Minakov Evgeny Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Russia, Tula, Tula State University,

Ishkov Anton Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, asihkov@mail.com, Russia, Penza, Penza State University

МЕТОДИКА РАСЧЕТА БОЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГСН

Е.А. Пафилов, Е.И. Минаков, Д.В. Желонкин, А.С. Ишков, С.В. Бочкарев

Рассмотрен общий системный подход путем оценки эффективности ГСН для снарядов артиллерийской системы, предназначенной решать задачи в интересах полковой артиллерии (ПА), проведя морфологический анализ. Очевидно, что следующим этапом должно быть рассмотрение вопроса о конкретизации показателей эффективности ГСН.

Ключевые слова: ГСН, системный подход, эффективность, расчет, боеприпасы, анализ.

ГСН, предназначенные для снарядов ствольной артиллерии и РСЗО, нельзя рассматривать изолированно от артиллерии и других подразделений, связанных общей задачей. Как известно средства разведки, средства управления и огневые средства образуют АРОС. Такие комплексы в военной системотехнике относятся к сложным системам, т.к. включают в себя ряд более простых систем, и в то же время являются частью более сложной системы (общевойсковая часть, соединение). В этом случае для оценки эффективности существующего образца ГСН или для определения ТТТ к создаваемому образцу необходимо использовать системный подход, этапы которого применительно к оценке эффективности ГСН, для артиллерийских снарядов, могут быть сформулированы следующим образом [2]: определение системы и ее подсистем; построение математической модели боевого применения системы и подсистем; выбор критериев (групп критериев) эффективности; выбор оптимальных ТТТ в соответствии с выбранным критерием (для проектируемого вооружения); оценка эффективности системы с полученными ТТТ.

Рассмотрим применение системного подхода на конкретном примере. Полагая, что необходимо оценить эффективность ГСН для снарядов артиллерийской системы, предназначенной решать задачи в интересах полковой артиллерии (ПА), проведем морфологический анализ этой системы, т. е. определим системы и подсистемы:

$$S = S_1 U S_2 U S_3 \dots U S_m$$

где S_1 - подсистема огневых подразделений; S_2 - подсистема разведки адн; $S_3 \dots S_m$ - другие подразделения адн; U - знак логического сложения.

В свою очередь,

$$S_1 = S_{11} U S_{12} U \dots U S_{1n}$$

S_{11} - подсистема артиллерийское орудие; $S_{12} - S_{1n}$ - другие орудия адн.

Продолжим декомпозицию

$$S_{11} = S_{111} U \dots U S_{11j}.$$

Здесь S_{111} - подсистема боеприпасов; S_{11j} - подсистемы других элементов орудия.

Для S_{111} справедливо соотношение

$$S_{111} = S_{1111} U S_{1112} U S_{1113},$$

где S_{1111} - подсистема ГСН; S_{1112} - подсистема взрывчатое вещество; S_{1113} - подсистема оболочки (корпуса) снаряда.

Общий состав системы запишется в виде логико-аналитического функционала:

$$S = \{[(S_{1111} U S_{1112} U S_{1113}) U S_{112} \dots U S_{11j}] U (S_{12} U S_{13} \dots U S_{1n}) U S_2 U S_3 \dots U S_{1m}\}.$$

Поскольку система ГСН (S_{1111}) входит в качестве подсистемы в более крупную систему, то эффективность системы S_{1111} следует оценивать через эффективность систем S_{1111} , S_{11} и S .

Эффективность системы S_{111} , обозначим ее \mathcal{E}_{111} , можно представить в виде:

$$\mathcal{E}_{111} = \chi_{111} \mathcal{E}_{1111} + \sum_{i=2}^k \chi_{11i} \mathcal{E}_{11i},$$

где \mathcal{E}_{1111} - эффективность системы боеприпасов; \mathcal{E}_{11i} - эффективность других элементов орудия; χ_{11i} - коэффициент приведения размерностей.

В свою очередь, эффективность огневых подразделений адн нетрудно записать в виде

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{11} + \sum_{i=2}^n \mathcal{E}_{1i},$$

Эффективность системы S (адн) будет определяться как

$$\mathcal{E} = \chi_1 \mathcal{E}_1 + \sum_{i=2}^m \chi_i \mathcal{E}_i, \quad (1.7)$$

где \mathcal{E}_i - эффективность других подразделений адн.

Таким образом, просматривается связь между эффективностью системы S_{1111} (ГСН) и эффективностью системы S (адн), т. е. чем выше эффективность ГСН, тем больше эффективность артиллерии полка.

В качестве меры эффективности системы S (адн) может использоваться величина ущерба, нанесенного противнику [113].

$$\mathcal{E} = \sum_{v=1}^N Q_v P_v, \quad (1.8)$$

где Q_v - важность v -го объекта; P_v - вероятность его уничтожения; N - число обстрелянных объектов $v=1, N$.

Иногда, в отдельных случаях, когда надо оценить эффективность противотанковой обороны или режима контрбатарейной борьбы (КББ), возможно применение в качестве меры эффективности "величины предотвращенного ущерба" [2],

$$\Theta = \sum_{v=1}^N \theta_v \prod_{j=1}^r \left[1 - A_j P_{vj} \prod_{l=1}^{x_j} (1 - P_{lj}) \right] \quad (1.9)$$

где A_j - поражающая способность j -го средства нападения; $j = \overline{1, r}$; $A_j P_{vj}$ - ущерб, нанесенный j -м средством v -му объекту при отсутствии обороны (КББ); P_{lj} - вероятность поражения j -того средства нападения l_m средством защиты; X_j - число средств обороны, назначенное для уничтожения j -того средства нападения; $\prod_{l=1}^{x_j} (1 - P_{lj})$ - вероятность непоражения j -того средства нападения X_j средством защиты; $\dot{A}_j P_{vj} \prod_{l=1}^v (1 - P_{lj})$ - ущерб, нанесенный j -м средством v_m объекту при наличии обороны.

В выражении (1.8) от эффективности системы S_{1111} (ГСН) в явном виде зависит только P_v - вероятность уничтожения v -го объекта. В выражении (1.9) от эффективности S_{1111} в явном виде зависит P_{lj} - вероятность поражения j -го средства нападения, l_m средством защиты. Следовательно, увеличение P_v или P_{lm} за счет повышения эффективности системы S_{1111} (ГСН), есть один из путей увеличения эффективности системы S (адн).

Если считать, что цели, поражаемые артиллерией, равноценны (например, танки в танковой роте) и вероятность поражения каждого равна P_v , то выражение (1.8) приобретает смысл математического ожидания числа пораженных целей

$$\Theta = \overline{M} = P_v N, \quad (1.10)$$

при условии, что число выпущенных снарядов с ГСН M не менее N ($M \geq N$).

В случае, если $M \gg N$ или применяются касетные боеприпасы, каждый боевой элемент которого имеет собственную ГСН, то математическое ожидание числа пораженных целей будет определяться:

$$\Theta = \overline{M} = N \left[1 - (1 - P_1 P_2 P_3 P_4)^n \right], \quad (1.11)$$

где n - среднее количество боеприпасов с ГСН, приходящихся на одну цель из состава групп; т.е. количество суббоеприпасов, которые могут иметь в своем поле обзора одну цель; P_1 - вероятность попадания цели в поле обзора какой-то одной ГСН; P_2 - вероятность захвата цели при условии ее нахождения в поле обзора ГСН; P_3 - вероятность попадания снаряда в цель; P_4 - вероятность уничтожения цели при попадании.

Показатель Θ характеризует эффективность адн без учета затрат на создание и эксплуатацию боеприпасов с ГСН. Высокая стоимость этих снарядов заставляет считаться не только с уровнем эффективности, но и со стоимостью достижения этого уровня. Поэтому за показатель эффективности целесообразно выбрать отношение [1,4]

$$W = \frac{\Delta \Theta}{\Delta C_{1111}}, \quad (1.12)$$

где $\Delta \Theta = \Theta^* - \Theta_1$; Θ^* - эффективность адн, при наличии в его боекомплекте боеприпасов с ГСН; Θ_1 - эффективность адн с обычными боеприпасами; ΔC_{1111} - разница в стоимости снаряда с ГСН и обычного снаряда.

Величина N для расчета показателя эффективности Θ_1 может быть определена следующим образом $N = N_0 K_1$,

где N_0 - расчетное число целей исследуемого класса; K - коэффициент, определяющий потенциальные возможности средства разведки по вскрытию целей.

Величина K , в свою очередь, определяется выражением

$$K = \int_{D_y}^{\int_{D_r} \int_0^z \int_0^T f_{ц}(z) f_{ц}(D) f_{ц}(t) P(D) dz dD dt} \quad (1.13)$$

где $f_{ц}(z)$, $f_{ц}(D)$, $f_{ц}(t)$ - плотность распределения целей по фронту, глубине и по времени; D_r - дальность разведки по данному классу целей; $z = 2D \operatorname{tg}(\theta_{ск}/2)$ - ширина полосы разведки на дальности D при ширине сектора сканирования $\theta_{ск}$; $P(D)$ - вероятность прямой видимости на данной местности и заданной высоте антенны.

Более подробно расчет N для различных видов боя и различных средств разведки рассмотрен в работах автора [2].

Таким образом, рассмотрен общий подход к оценке эффективности ГСН. Очевидно, что следующим этапом должно быть рассмотрение вопроса о конкретизации показателей эффективности ГСН.

Список литературы

- Акиншин Н.С., Пафилов Е.А., Смыляев Д.В., Синтез многоточечной модели объекта локации на фоне подстилающей поверхности // В сборнике материалов Всероссийской НТК «Пути повышения эффективности применения ракетно-артиллерийских комплексов методов их эксплуатации и ремонта» ВА МТО (г. Пенза). – Пенза: фил. ВА МТО (г. Пенза), 2021. – С.186-190.
- Басалов, Ф.А. Исследование тонкой структуры сигналов, отраженных наземными и надводными протяженными объектами, с целью повышения эффективности артиллерийских радиолокационных средств и управляемых снарядов: дис. ... д-ра техн. наук / Басалов Ф.А. – Тула, 1975. – 415 с.
- Смыляев Д.В., Федянин Н.Д., Пафилов Е.А. Модели процессов разведки целей оператором бронетанковой техники с помощью оптико-электронных приборов наблюдения // Известия Тульского государственного университета. 2021. Выпуск 9. С.121-130.

4. Пафи́ков Е.А., Мамон Ю.И., Смыляев Д.В. Влияние блестящих точек на положение фазового центра протяжённого радиолокационного объекта // Труды российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, серия: научные сессии Тульской областной организации выпуск XXXVII. –Тула: ТуЛГУ – 2019 – С.57-64

Пафи́ков Евгений Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, evgeniy_pafikov@mail.ru, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения,

Минаков Евгений Иванович. д-р техн. наук, профессор, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Желонкин Дмитрий Васильевич, адъюнкт, dizhelonkin58l@yandex.ru, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения,

Ишков Антон Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, asihkov@mail.ru Россия, Пенза, Пензенский государственный университет.

Бочкарев Сергей Викторович, канд. техн. наук, преподаватель, bochkarevsergejj@rambler.ru, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения

THE METHODOLOGY FOR CALCULATING THE COMBAT EFFECTIVENESS OF THE GOS

E.A. Pafikov, E.I. Minakov, D.V. Zhelonkin, A.S. Ishkov, S.V. Bochkarev

A general systematic approach is considered by evaluating the effectiveness homing head for shells of an artillery system designed to solve tasks in the interests of regimental artillery (PA) by conducting a morphological analysis. Obviously, the next step should be to consider the issue of specifying the performance indicators of the homing head.

Key words: homing head, systematic approach, efficiency, calculation, ammunition, analysis.

Pafikov Evgeny Anatolyevich, candidate of technical sciences, docent, evgeniy_pafikov@mail.ru, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics,

Minakov Evgeny Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Russia, Tula, Tula State University,

Zhelonkin Dmitry Vasilyevich, adjunct, Dizhelonkin58@yandex.ru, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics,

Ishkov Anton Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, asihkov@mail.ru, Russia, Penza, Penza-state-university,

Bochkarev Sergey Viktorovich, candidate of technical sciences, lecturer, bochkarevsergejj@rambler.ru, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics

УДК 623.4.01

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-75-76

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

А.В. Пыхтункин, Е.И. Минаков, А.С. Ишков, Е.Б. Серeda

Проведен анализ существующих методов построения радиолокационного изображения.

Ключевые слова: синтезированная апертура, доплеровская частота, круговой апертурный синтез, метод синтеза апертуры вращающихся объектов.

При испытательных стрельбах ракеты с борта на землю по телеметрическому каналу, наряду с другой информацией, передаются отсчёты траекторного доплеровского сигнала. Используя приёмы синтеза апертуры антенны, есть возможность восстановить пролётную ситуацию по траекторному доплеровскому сигналу, не прибегая к дорогостоящим дополнительным системам траекторного контроля, для которых потребуется место на борту ракеты и дополнительный объём телеметрического канала.

Синтезированная апертура антенны - это воображаемая апертура антенной решётки, которая синтезируется в результате движения по траектории летательного аппарата одним единственным антенным элементом с изотропной диаграммой направленности. Единственный движущийся элемент, занимая ряд последовательных положений на траектории, ведёт себя как полноценная антенная решётка с множеством изотропных элементов, расположенных вдоль апертуры (траектории) с некоторым шагом. Как реальная, так и синтезированная антенная решётка имеет узкую диаграмму направленности. Угловая ширина диаграммы антенной решётки определяется длиной её апертуры. Они связаны обратно пропорциональной зависимостью:

$$\Delta\theta = \lambda / d,$$

где $\Delta\theta$ – угловая ширина диаграммы направленности в радианах; λ – длина волны; d – длина апертуры.

Синтезированная апертура совпадает с траекторией движения летательного аппарата и значительно превышает его размеры. Реальную антенную решётку с такой же длиной как синтезированная апертура на летательном аппарате разместить невозможно. Из [1-4] известно, что мы можем рассчитывать при этом на разрешение $\lambda/5$. Такое высокое разрешение синтезированной апертуры подталкивает к применению её для распознавания образов объектов, а также в радиолокации, томографии и интроскопии.

Синтез апертуры на близком расстоянии имеет много особенностей по сравнению с синтезом апертуры антенны в дальней зоне. Эти особенности не позволяют просто перенести приёмы синтеза апертуры антенны, которые используются на большом расстоянии, на близкое расстояние. Первое препятствие, мешающее такому переносу, это проблема радиального разрешения.

Для повышения разрешения уменьшают длительность зондирующего импульса. В итоге пространственная протяжённость зондирующих импульсов сравнивается с длиной волны. При таком соотношении пространственной протяжённости импульса и длины волны синтез апертуры становится невозможным, так как он основан на обработке фазы когерентного высокочастотного колебания, заполняющего радиопульс, а она разрушена импульсной модуляцией. В связи с этим привлекательным становится синтез апертуры на близком расстоянии при монохроматическом зондирующем сигнале.

Однако в настоящий момент не разработаны теоретические основы синтеза апертуры антенны на близком от объекта расстоянии, пригодные для контроля реализовавшихся параметров движения объектов. Известный круговой синтез апертуры антенны [5-11] характерен тем, что он осуществляется в спектральной области проекционными методами и не пригоден для траекторного контроля движущихся объектов по прямолинейной траектории. Поэтому разработка теоретических основ синтеза апертуры на близком расстоянии от объекта для осуществления траекторного контроля является актуальной задачей.

Принцип согласования области срабатывания с областью поражения в доплеровских системах ближней локализации основан на фиксации углового положения цели по доплеровской частоте в соответствии с формулой,

$$f_d(t) = (2V_{OT} / \lambda) \cos\varphi(t),$$

где f_d – доплеровская частота; V_{OT} – скорость лоатора относительно цели; $\varphi(t)$ – угол между траекторией и линией визирования на цель; λ – длина волны.

Как правило, доплеровская частота f_d фиксируется отстроенным узкополосным доплеровским фильтром.

Такое согласование по существу является примитивным синтезом апертуры антенны на близком расстоянии. Чтобы сделать последний шаг к полноценному синтезу апертуры антенны, нужно перейти к корреляционной обработке траекторного доплеровского сигнала.

Применение апертурного синтеза на близком расстоянии связано с развитием томографии. Идея о том, что непрерывные монохроматические сигналы обладают пространственным разрешением и позволяют воссоздать изображение объекта, была уже известна многим специалистам в 60-х годах.

В то время широкое распространение получил метод реконструкции изображения вращающихся объектов. Однако, обобщающие работы по такой реконструкции с хорошим теоретическим обоснованием, показывающие как можно реконструировать изображение вращающегося объекта по рассеянному им полю, появились в начале восьмидесятых годов [12-15]. Несколько раньше вышли работы, которые дали математический и теоретический фундамент для этого метода. К ним относятся работы о преобразовании Фурье в полярных координатах, а также работы, посвященные проекционным методам томографии [5-11].

Следует отметить, что Д. Менса, Ш. Халеви и Г. Уейд распространили на круговой апертурный синтез приёмы метода восстановления изображения по проекциям, заимствованные из рентгеновской томографии. Метод восстановления изображения по проекциям был разработан и технически реализован английскими учёными Хаунсфилдом (G.N.Hounsfield) и Мак-Кормаком (A.McCormack). Как выяснилось впоследствии, впервые такая задача была решена Радонем в 1917 году. Хаунсфилд и Мак-Кормак и их последователи "переоткрыли" идею Радона, разработав попутно ряд новых алгоритмов, использующих возможности современной вычислительной техники [16-20].

В настоящее время доплеровские РЛД работают по-прежнему на примитивных принципах синтеза апертуры, не используя многих информационных возможностей, которые может предоставить полноценный синтез апертуры антенны. Этому есть некоторые оправдания, например, нужно ли расширять количество информации о цели, если её всё равно придётся уничтожить. Другое дело - задачи траекторного контроля на этапе испытаний и отработки всей системы и отдельных узлов зенитного комплекса. В этой ситуации информация о промахе и моменте подрыва может оказаться для разработчиков комплекса особенно ценной, позволяющей корректировать параметры зенитного комплекса в правильном направлении.

В настоящее время хорошо известен метод синтеза апертуры вращающихся объектов с регистрацией пространственного спектра по кольцевой линии (метод Д. Менсы). Этот метод опирается на хороший теоретический фундамент, такой как спектральные теоремы о проекциях и центральном срезе и преобразование Фурье в полярных координатах.

Круговой апертурный синтез позволяет получить хорошее пространственное разрешение. Можно установить теоретические границы достижимого разрешения при применении апертурного синтеза. Для этого нужно использовать аналогию синтезированной апертуры и оптической линзы. Такая аналогия использовалась в [94]. В связи с этим можно воспользоваться известной из оптики формулой для определения радиуса центрального пятна дифракционной картины точечного источника [91]:

$$\rho = \frac{1.22\lambda}{2\alpha},$$

где ρ – радиус центрального дифракционного пятна; λ – длина волны; 2α – угловой размер апертуры.

При круговом апертурном синтезе угловой размер апертуры равен 2λ и радиус центрального пятна составит, согласно приведённой выше формуле, $\lambda/5$. В первом приближении радиус центрального дифракционного пятна можно принять в качестве характеристики разрешения линзы или синтезированной апертуры.

Метод Д. Менсы был опробован в диапазоне СВЧ на волне $\lambda=3$ см. Получены функции рассеяния одноточечных объектов, при различных секторах синтезирования апертуры. В [21] вместо принятого термина в оптике «функция рассеяния точки» введён термин «передаточная функция точки». Получены также функции рассеяния для одноточечных объектов при трёхчастотном и пятичастотном зондировании исследуемого объекта.

Как отмечалось выше, синтез апертуры по методу Д. Менсы обладает высоким пространственным разрешением, но всегда на реконструированном изображении присутствуют артефакты в виде концентрических кругов вокруг максимума передаточной функции точки, обусловленные большим уровнем боковых лепестков этой функции. Для избавления от артефактов была предложена двухпозиционная локация или многочастотное зондирование, что эквивалентно расширению спектра зондирующего сигнала и, фактически, некоторому отступлению от применения монохроматического зондирования объектов.

При представлении своего метода, в котором используется вращение объектов авторы работы [22] ограничились демонстрацией результатов реконструкции одноточечных объектов. Однако основные проблемы начинаются при исследовании многоточечных, а точнее протяжённых объектов.

Одной из таких проблем является интерференция. При реконструкции одноточечных объектов она не проявляется на восстановленных изображениях. В работе [21], проблемы интерференции не были выявлены, а, следовательно, не решались.

Известный до настоящего времени синтез апертуры в спектральной области (метод обращения по Фурье), основанный на обратном преобразовании Радона, сопряжён с рядом ограничений, которые неудобны, а иногда не приемлемы для синтеза апертуры на близком расстоянии. Главное ограничение состоит в том, что в каждую точку регистрации проекции должен приходиться только один проекционный луч, рассеянный объектом волны. Именно это ограничение Радона нарушается при синтезе апертуры на близком расстоянии.

Список литературы

1. Математическое и полунатурное моделирование сигнала от сложных радиолокационных объектов применительно к системам ближней радио-локации с импульсной модуляцией / О.Ф. Андрюшин [и др.] // Специальная техника - 2008. - № 2. - с. 24-35.
2. Менса Д.Л. Применение методов когерентной доплеровской томографии для получения изображения на СВЧ / Д.Л. Менса, Ш. Халеви, Г. Уэйд // ТИИЭР. Т. 71, - №2, 1983. - С. 76-84.
3. Менса, Д. Л. Применение методов когерентной доплеровской томографии для получения изображения на СВЧ [Текст] / Д. Л. Менса, Ш. Халеви, Г. Уэйд // ТИИЭР. - 1983. - Т. 71, № 2. - С. 76-84.
4. Ющенко, В. П. Сопоставление двух методов когерентной томографии [Текст] / В. П. Ющенко // Радиотехника и электроника. - 2004. - № 2. - С. 196-205.
5. Турчин, В. И. Многокурсовый апертурный синтез для широко-полосных источников [Текст] / В. И. Турчин, И. Ш. Фикс ; РАИ ИПФ. - Н. Новгород, 2001. - 26 с. - (Препринт № 583).
6. Хелгасон, С. Преобразование Радона [Текст] / С. Хелгасон. - М. : Мир, 1983.-150 с.
7. Хермен, Г. Восстановление изображений по проекциям: основы реконструктивной томографии [Текст] : пер. с англ. / Г. Хермен. -М. : Мир, 1983. -231 с.
8. Ющенко, В. П. Доплеровское сканирование структуры объекта с помощью синтезированной апертуры [Текст] / В. П. Ющенко // Приборы и техника эксперимента. - 2001. - № 2. - С. 41-45.
9. Ющенко, В. П. Круговой апертурный синтез для целей томографии / В. П. Ющенко // Автометрия. - 2002. - Т. 38, № 6. - С. 28-33.
10. Ющенко, В. П. Сопоставление двух методов когерентной томографии [Текст] / В. П. Ющенко // Радиотехника и электроника. - 2004. - № 2. - С. 196-205.
11. Ющенко, В. П. Устойчивость к шумам метода томографирования с помощью синтезированной апертуры [Текст] / В. П. Ющенко // Изв. вузов Рос-сии. Сер. Радиоэлектроника. - 2005. - № 3. - С. 3-9.
12. Way, J. and E.A. Smith, 1991. The Evolution of Synthetic Aperture Radar Systems and their Progression to the EOS SAR, IEEE Transactions on Geo-science and Remote Sensing, vol. 29, № 6, P.962-985.
13. Webb Jennifer, L.H. High-resolution planetary imaging via spotlight-mode synthetic aperture [Текст] / L. H. Webb Jennifer, C.(Jr) Munson, J. S. Stacy Nick // Trans. Image Process. - 1998. - Vol. 7, № 11. - P. 1571-1582.
14. Wong, D. Analysis processing of ultra wide-band SAR imagery for buried landmine detection [Текст] / D. Wong, L. Carin // IEEE Trans. Antennas Propag. - 1998. - Vol. 46, № 11. - P. 1747-1748.
15. Yushchenko, V. P. A Circular Aperture synthesis for Tomography [Текст] / V. P. Yushchenko // The 6th Russian-Korean International Symposium On Science and Technology KORUS-2002, June 24-30.02. - Novosibirsk : NSTU, 2002. - Vol. 1.-P. 374-378.
16. Halman, J. I. SAR processing of ground-penetrating radar data for buried UXO detection: Results from a surface-based system [Текст] / J. I. Halman, K.A. Shubert, G. T. Ruck. // Trans. Antennas and Propag. - 1997. - Vol. 46, № 7. - P. 1023-1027.
17. High resolution MW holographic system for NDT of dielectric materials and details / Ivashov S., Zhuravlev A., Chizh M., and Razevig V. // Pro-ceedings of the 16th International Conference of Ground Penetrating Radar. — Hong Kong, China, 2016. — P. 1-4. DOI: 10.1109/ICGPR.2016.7572595.
18. Jordan, R.L., Huneycutt B.L., and M. Werner, 1991. The SIR-C/X-SAR Synthetic Aperture Radar System, Proceedings of the IEEE, vol. 79, № 6, P.827-838.
19. Mensa, D. Aperture synthesis by object rotation in coherent imaging [Текст] / D. Mensa, G. Heidbreder, G. Wade // IEEE Trans. Nuel. Sci. - 1980. - Vol. 27, №2.-P. 989-998.

20. Saillard, L., E. Pottier and W.-M. Boerner, 1992. Proceedings, Radar Polarimetry, JIPR-2, September 8-10, University of Nantes, IRESTE-S2HF, Nantes, France.

21. Way, J. and E.A. Smith, 1991. The Evolution of Synthetic Aperture Radar Systems and their Progression to the EOS SAR, IEEE Transactions on Geo-science and Remote Sensing, vol. 29, № 6, P.962-985.

22. Taylor C.D., Harrison C.W. On the Coupling of Microwave Radiation to Wire Structures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 1992. Vol. 34, №3. August. P. 183.

Пыхтункин Алексей Викторович, преподаватель, Россия, Пенза, филиал военной академии материально-технического обеспечения,

Минаков Евгений Иванович. д-р техн. наук, профессор, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Ишков Антон Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, asihkov@mail.com, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет,

Серета Евгений Борисович, канд. техн. наук, начальник кафедры, Россия, Пенза, филиал военной академии материально-технического обеспечения

ANALYSIS OF METHODS FOR CONSTRUCTING A RADAR IMAGE WITH A SYNTHESIZED APERTURE

A.V. Pykhtunkin, E.I. Minakov, A.S. Ishov, E.B. Sereda

The analysis of the existing methods of radar image construction is carried out.

Key words: synthesized aperture, doppler frequency, circular aperture synthesis, a method for synthesizing the aperture of rotating objects.

Pykhtunkin Alexey Viktorovich, lecture, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics,

Minakov Evgeny Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Russia, Tula, Tula State University,

Ishkov Anton Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, asihkov@mail.com, Russia, Penza, Penza State University.

Sereda Evgeniy Borisovich, candidate of technical sciences, head of the department, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics

УДК 623.746

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-78-79

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Е. И. Минаков, С.А. Куканов, П.С. Суздальцев, В.М. Чайковский

В данной статье рассматривается моделирование состояния системы беспилотного летательного аппарата-квадрокоптера. Представлена математическая модель, которая описывает движение и поведение квадрокоптера в пространстве, а также задача которой состоит в том, чтобы обеспечивать движение аппарата в воздухе и управлять стабилизацией аппарата при заданных углах положения, путем подачи управляющих сигналов на двигатели.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, система автоматического управления.

Квадрокоптер – это динамичное летающее средство с пониженным приводом и с четырьмя входными усилиями, имеющее шесть степеней свободы. В отличие от обычных вертолетов, которые имеют несущие винты с переменным углом наклона, квадрокоптер имеет четыре несущих винта с фиксированным шагом и фиксированным углом наклона. Движением квадрокоптера в шести степенях свободы (*6DOF*) управляют, изменяя обороты четырех несущих винтов по отдельности, тем самым изменяя подъемную силу и вращательные усилия. Квадрокоптер наклоняется в направлении медленно вращающегося двигателя, что позволяет ему крениться и наклоняться по наклонной плоскости. Углы крена и тангажа разделяют тягу на два направления, благодаря чему достигается линейное движение. Несущие винты вращаются парами по часовой стрелке и против (рисунок 1), чтобы контролировать рыскание (угол курса), возникающее из-за силы сопротивления гребных винтов. Центр тяжести находится почти в одной плоскости, в которой расположены все двигатели. Кроме того, все четыре двигателя одного класса не отличаются друг от друга по эффективности. Это отличает его от вертолетов, но его становится очень трудно стабилизировать с помощью человеческого управления. Поэтому для сбалансированного полета квадрокоптера необходимо сложное управление.

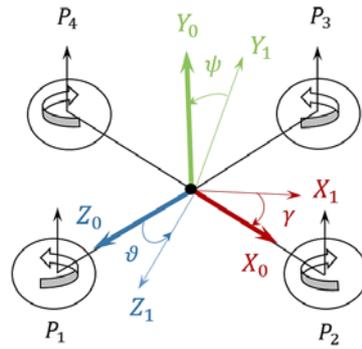


Рис. 1. Принцип работы квадрокоптера

Моделирование состояния системы беспилотного летательного аппарата является важным инструментом для разработки и совершенствования квадрокоптера, которое позволяет провести анализ его поведения и учесть такие факторы как, динамика полета с различными степенями свободы, аэродинамические характеристики и другие параметры, влияющие на полет. Получение достоверной информации способствует их совершенствованию, улучшению и расширению возможностей, а также позволяет оптимизировать управление, улучшить стабильность и автономность полета, а также оценить производительность системы.

Пространственное движение квадрокоптера описывается системой уравнений (1), в которую входят уравнения поступательного движения центра тяжести, вращательного движения относительно центра тяжести и уравнения связи, рисунок 2.

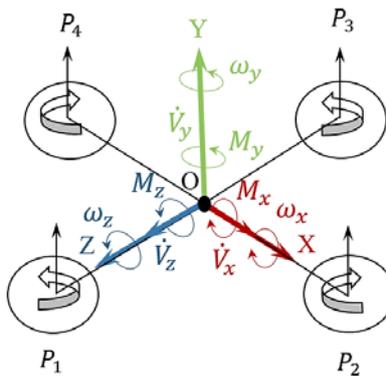


Рис. 2. Динамика квадрокоптера

$$\left\{ \begin{array}{l} m \left(\frac{dV_x}{dt} + V_z \omega_y - V_y \omega_z \right) = \sum F_{x1}; \\ m \left(\frac{dV_y}{dt} + V_x \omega_z - V_z \omega_x \right) = \sum F_{y1}; \\ m \left(\frac{dV_z}{dt} + V_y \omega_x - V_x \omega_y \right) = \sum F_{z1}, \\ I_x \frac{d\omega_x}{dt} + (I_z - I_y) \omega_y \omega_z = \sum M_x; \\ I_y \frac{d\omega_y}{dt} + (I_x - I_z) \omega_{z1} \omega_{x1} = \sum M_{y1}; \\ I_z \frac{d\omega_z}{dt} + (I_{y1} - I_{x1}) \omega_{x1} \omega_{y1} = \sum M_{z1}, \\ \frac{d\vartheta}{dt} = \omega_{z1} \cos\gamma - \omega_{y1} \sin\gamma; \\ \frac{d\gamma}{dt} = \omega_{x1} - \sin\vartheta \frac{d\psi}{dt}; \\ \frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{\cos\vartheta} (\omega_{y1} \cos\gamma - \omega_{z1} \sin\gamma). \end{array} \right. \quad (1)$$

Следовательно, уравнение (1) показывает нам динамику квадрокоптера во всех 6 степенях свободы. После того, как динамические уравнения установлены, мы можем перейти к моделированию пространства состояний летательного аппарата. Из-за простоты и легкости понимания четырехместный ротор сначала моделируется в режиме 3D, а затем в режиме 6DOF.

Представление пространства состояний — это математическая модель физической системы в виде набора входных, выходных переменных и переменных состояния, связанных дифференциальными уравнениями первого порядка. "Пространство состояний" относится к пространству, осями которого являются переменные состояния. Состояние системы может быть представлено в виде вектора в пределах этого пространства. Наиболее общее представление линейной системы в пространстве состояний с p входами, q выходами и n переменными состояниями записывается в следующем виде:

$$x(t)=Ax(t)+Bu(t), \quad (2)$$

$$y(t)=Cx(t)+Du(t), \quad (3)$$

где $x(t)$ – вектор состояния; $y(t)$ – выходной вектор; $u(t)$ – вектор управления; A – системная матрица; B – входная матрица; C – выходная матрица; D – матрица прямой связи.

Управление движением вдоль вертикальной оси ОУ в земной системе координат реализуется непосредственно путем заданной величины суммарной тяги двигателей. Перемещение БЛА вдоль осей ОХ и ОZ при условии стабилизации значения угла рыскания, близком к нулю, обеспечивается за счет изменений заданных значений углов тангажа и крена, соответственно. Структура системы управления траекторным и угловым движением приведена на рисунке 3.



Рис. 3. Схема управления квадрокоптером

Управление угловым движением в зависимости от заданных и измеренных значений углов и угловых скоростей формируются требуемые значения моментов крена, тангажа и рыскания. Полученные значения моментов и суммарной тяга двигателей передаются в блок формирования требуемых отклонений органов управления, которые используются в качестве входных управляющих воздействий для блока расчета динамики полета БЛА. Сигналы текущих значений параметров линейного и углового движения БЛА, полученные с помощью системы бортовых измерений, поступают в контур управления траекторным и угловым движением БЛА.

Формирование контура управления высотой выполним на основании линеаризованного уравнения вертикального движения БЛА:

$$\sum F_y = mg \left(\frac{dV_y}{dt} + V_x \omega_z - V_z \omega_x \right);$$

если считать отклонения углов крена и тангажа небольшими, то:

$$\sum F_y = F_p - mg,$$

где, $F_p = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ – сумма тяг, создаваемая винтомоторной группой, m – масса летательного аппарата, h – высота, F_p – тяга двигателей, g – ускорение свободного падения, K_p – коэффициент пропорциональности для ошибки в высоте, K_V – коэффициент пропорциональности для ошибки в скорости. Линейный стабилизатор, представленный членами $K_p(h_{\text{тек}} - h_{\text{зад}}) - K_V(h_{\text{тек}} - h_{\text{зад}})dt$, предназначен для компенсации ошибок в высоте и скорости и поддержания летательного аппарата на желаемой высоте.

Из линеаризованного уравнения следует, что управление высотой выбранного БЛА непосредственно реализуется синхронным изменением тяг всех двигателей. На вход контура поступает заданное значение высоты $h_{\text{зад}}$, а на выходе формируется требуемое значение суммарной тяги всех двигателей F_p .

$$F_p = K_p(h_{\text{тек}} - h_{\text{зад}}) - K_V(h_{\text{тек}} - h_{\text{зад}})dt.$$

Сформированное в контуре управления значение требуемого угла тангажа поступает на вход внутреннего контура – контура стабилизации угла тангажа (рисунок 4).

Уравнения углового движения относительно поперечной оси ОZ можно записать в виде:

$$I_z \frac{d\omega_z}{dt} + (I_y - I_x)\omega_x\omega_y = \sum M_z.$$

При этом на выходе контура будет формироваться соответствующее заданное значение вращающего момента вокруг оси ОZ связанной системы координат, которое впоследствии будет подано на вход блока динамики БЛА, при котором уравнение будет иметь вид:

$$I_z \frac{d\omega_z}{dt} = \sum M_z - (I_y - I_x)\omega_x\omega_y - K_p(\vartheta_{\text{тек}} - \vartheta_{\text{зад}}) - K_V(\vartheta_{\text{тек}} - \vartheta_{\text{зад}})dt,$$

где K_p, K_V – коэффициенты регулирования угла тангажа.

Сформированное в контуре управления координатой Z значение требуемого угла крена поступает на вход внутреннего контура – контура стабилизации угла крена (рисунок 5).

Уравнения углового движения относительно поперечной оси ОX:

$$I_x \frac{d\omega_x}{dt} + (I_z - I_y)\omega_y\omega_z = \sum M_x,$$

С помощью уравнений движения определим закон управления углом крена и сформируем необходимые обратные связи:

$$I_x \frac{d\omega_x}{dt} = \sum M_x - (I_z - I_y)\omega_y\omega_z - K_p(\gamma_{\text{тек}} - \gamma_{\text{зад}}) - K_V(\gamma_{\text{тек}} - \gamma_{\text{зад}})dt,$$

где K_p, K_V – коэффициенты регулирования угла крена.

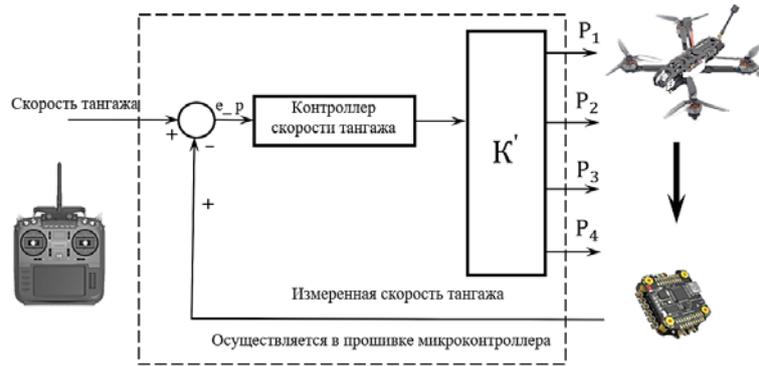


Рис. 4. Схема управления углом тангажа

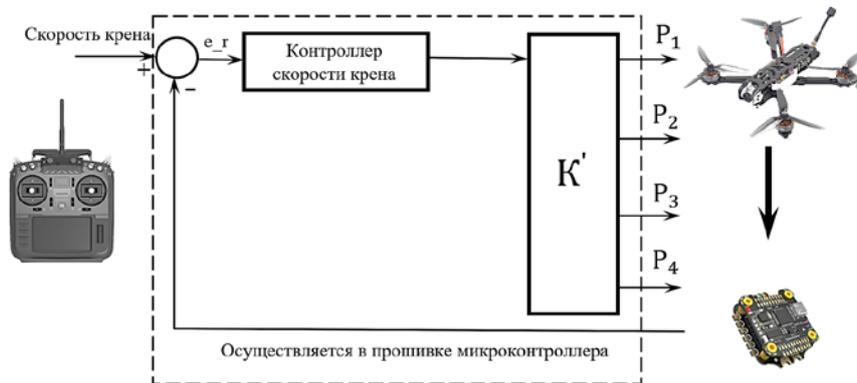


Рис. 5. Схема управления углом крена

Линеаризованные уравнения углового движения относительно оси ОУ имеют вид:

$$I_y \frac{d\omega_y}{dt} + (I_x - I_z)\omega_z\omega_x = \sum M_y.$$

На вход контура управления углом рыскания поступает заданное значение угла рыскания (рисунок 6).

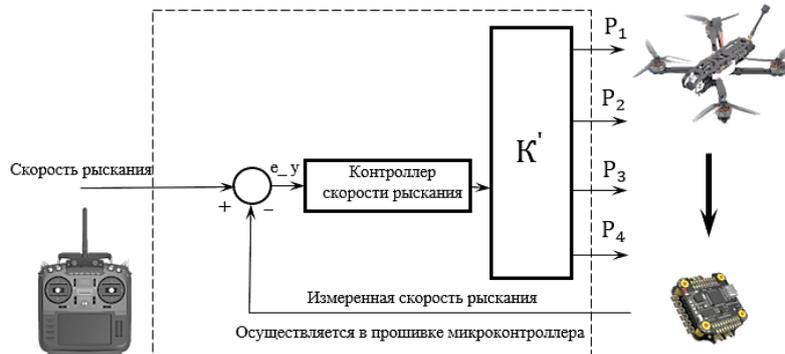


Рис. 6. Схема управления углом рыскания

На выходе регулятора формируется при этом потребный момент рыскания:

$$I_y \frac{d\omega_y}{dt} = \sum M_y - (I_x - I_z)\omega_z\omega_x - K_p(\Psi_{\text{тек}} - \Psi_{\text{зад}}) - K_V(\Psi_{\text{тек}} - \Psi_{\text{зад}})dt,$$

где K_p, K_V – коэффициенты регулирования угла рыскания.

Таким образом, законы управления САУ определяют динамику движения БЛА при автоматическом управлении, а с другой стороны, характеризуют структуру построения САУ. Системы автоматического управления современных летательных аппаратов достаточно сложны, поэтому исследование их динамических свойств, оборудованных САУ, в общем случае связано с серьезными трудностями. Как следствие, многоконтурную систему управления динамическими свойствами существенно упростили и расчленили на несколько более простых. Обоснованием такого разделения являются собственные динамические свойства БЛА, где движение можно разделить на продольное и боковое и рассматривать управление ими независимо друг от друга. Поскольку малые (короткопериодические) движения, определяющие движение самолета вокруг центра масс, протекают значительно быстрее больших (длиннопериодических) движений, характеризующих движение центра масс, то системы управления, в свою очередь, можно разделить на системы управления движением вокруг центра масс и движением центра масс.

Автоматическое управление САУ осуществляют путем воздействия на органы управления и создания ими необходимых управляющих сил и моментов.

Список литературы

1. Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета: траектории летательных аппаратов.. М.: Машиностроение, 1969. 505 с.
2. Алхаддад Мухаммад. Моделирование и управление ориентацией квадрокоптера с использованием линейного квадратического регулятора // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Т.1. № 12. С. 883-886.
3. Горбатенко С.А. Механика полёта. Общие сведения. Уравнения движения/ С.А. Горбатенко, Э.М. Макашов, Ю.Ф. Полушкин и др. М.: Машиностроение, 1969. 419 с.
4. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1973. 615 с.
5. Красовский Н.Н. К теории аналитического конструирования регуляторов / Н.Н. Красовский, А.М. Летов // Автоматика и телемеханика. 1962. №. 6. С. 713-720.

Минаков Евгений Иванович, д-р техн. наук, профессор, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Куканов Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, kuk_76@mail.ru, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения,

Суздальцев Павел Сергеевич, адъюнкт, suzdal.1990@bk.ru, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения,

Чайковский Виктор Михайлович, доцент, wertex5@yandex.ru, Россия, Пензенский государственный университет

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

E.I. Minakov, S.A. Kukanov, P.S. Suzdaltsev, V.M. Tchaikovsky

This article discusses the modeling of the state of the unmanned aerial vehicle-quadcopter system. A mathematical model is presented that describes the movement and behavior of a quadcopter in space, as well as the task of which is to ensure the movement of the device in the air and control the stabilization of the device at specified position angles by sending control signals to the engines.

Key words: unmanned aerial vehicle, quadcopter, automatic control system.

Minakov Evgeny Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Russia, Tula, Tula State University,

Kukanov Sergey Anatolyevich, candidate of technical sciences, docent, kuk_76@mail.ru, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics,

Suzdaltsev Pavel Sergeevich, adjunct, suzdal.1990@bk.ru, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics,

Tchaikovsky Viktor Mikhailovich, docent, wertex5@yandex.ru, Russia, Penza, Penza State University

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ С ЗАМЕНОЙ ЭЛЕМЕНТА ПРИ ЕЁ КОНТРОЛЕ

М.В. Заморёнов, Н.И. Чаленков, В.Я. Копп

В статье при использовании аппарата полумарковских процессов, проводится анализ функционирования системы с заменой элемента при её контроле. Проводится укрупнение системы с непрерывным фазовым пространством состояний методом, не требующим определения стационарного распределения вложенной цепи Маркова для непрерывной системы. Для укрупненной системы определяются вероятности переходов и стационарное распределение вложенной цепи Маркова, а также времена пребывания системы в состояниях. При помощи метода путей находятся пути перехода системы из подмножества работоспособных состояний, и определяется функция распределения времени пребывания системы в этом подмножестве. Результаты моделирования сравниваются с данными, полученными с использованием теоремы о среднестатистическом времени пребывания системы в подмножестве состояний. Приводится вид искомой функции распределения.

Ключевые слова: полумарковская система, функция распределения, метод путей, контроль, замена элемента.

Вопросы надежности функционирования систем представляют собой важную и сложную задачу, которая достигается путём контроля параметров элементов системы и своевременной их замены. При этом на этапе разработки данных систем необходимо получить максимально точные прогнозы функционирования как самой системы, так и отдельных элементов. Данная задача решается применением аппарата полумарковских процессов, который позволяет учитывать производительность и надёжность отдельных элементов системы [1–9].

В данной статье предлагается с использованием аппарата полумарковских процессов рассмотреть процесс функционирования системы с заменой элемента при её контроле.

Рассмотрим функционирование системы с заменой элемента при её контроле. Время ее безотказной работы – СВ α_1 с ФР $F_1(t) = P(\alpha_1 \leq t)$, время поиска неисправного элемента – СВ β_1 с ФР $G_1(t) = P(\beta_1 \leq t)$. Время наработки на проверку элементов системы – СВ α_2 с ФР $F_2(t) = P(\alpha_2 \leq t)$, время проверки элементов системы – СВ α_3 с ФР $F_3(t) = P(\alpha_3 \leq t)$, время замены элемента системы – СВ β_2 с ФР $G_2(t) = P(\beta_2 \leq t)$.

СВ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2$ предполагаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР $F_1(t), F_2(t), F_3(t), G_1(t), G_2(t)$ существуют плотности $f_1(t), f_2(t), f_3(t), g_1(t), g_2(t)$.

Граф состояний системы приведен на рис. 1.

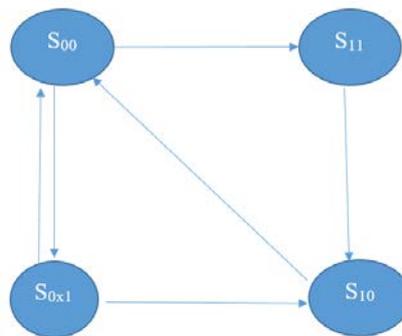


Рис. 1. Граф состояний системы

Опишем состояния системы:

- S_{00} – система находится в работоспособном состоянии;
- S_{11} – произошел отказ системы, производится поиск неисправного элемента;
- S_{0x1} – производится проверка элементов системы, работа основной системы продолжается оставшееся время безотказной работы $x > 0$;
- S_{10} – производится замена элемента системы;

Разделим состояния системы на два подмножества (работоспособных E_+ и неработоспособных E_-) состояний:

$$E_+ = \{00, 0x1, 0x0\}, \quad E_- = \{10, 11\}$$

Причем

$$E = E_+ \cup E_-$$

где $E = \{00, 0x1, 10, 11\}$ – все множество состояний системы.

Как видно из описания системы, в нашем случае имеется только одно состояние, которое содержит непрерывную компоненту, равную:

$$x = [\alpha_1 - \alpha_2]^+;$$

Определим вероятности переходов системы:

$$P_{00}^{11} = \int_0^{\infty} \bar{F}_2(t) g_2(t) dt; \quad P_{00}^{0x1} = 1 - P_{00}^{11}; \quad P_{11}^{10} = 1; \quad P_{10}^{00} = 1; \quad P_{0x1}^{10} = \int_0^{\infty} f_3(t) \bar{F}_x(t) dt;$$

$$P_{0x1}^{00} = 1 - P_{0x1}^{10}.$$

Определив вероятности переходов, запишем времена пребывания системы в состояниях:

$$\theta_{00} = \alpha_1 \wedge \alpha_2, \quad \theta_{11} = \beta_2, \quad \theta_{0x1} = \alpha_3 \wedge x, \quad \theta_{10} = \beta_1,$$

где \wedge – знак минимума.

Найдем ФР времен пребывания системы в состояниях:

$$\bar{F}_{00}(t) = \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_2(t), \quad F_{11}(t) = G_2(t), \quad \bar{F}_{0x1}(t) = \bar{F}_x(t) \cdot \bar{F}_3(t), \quad F_{10}(t) = G_1(t).$$

Для получения искоемых характеристик необходимо воспользоваться стационарным распределением вложенной цепи Маркова (ВЦМ), для чего требуется составить и решить систему уравнений. Решение системы представлено ниже:

$$\begin{cases} \rho_{00} = \rho_{0x1} P_{0x1}^{00} + \rho_{10} P_{10}^{00}, \\ \rho_{11} = \rho_{00} P_{00}^{11}, \\ \rho_{10} = \rho_{11} P_{11}^{10} + \rho_{0x1} P_{0x1}^{10}, \\ \rho_{0x1} = \rho_{00} P_{00}^{0x1}. \end{cases}$$

Для удобства вычисления, заменим первое уравнение системы условием нормировки:

$$\begin{cases} \rho_{00} + \rho_{11} + \rho_{10} + \rho_{0x1} = 1, \\ \rho_{11} = \rho_{00} P_{00}^{11}, \\ \rho_{10} = \rho_{11} P_{11}^{10} + \rho_{0x1} P_{0x1}^{10}, \\ \rho_{0x1} = \rho_{00} P_{00}^{0x1}. \end{cases}$$

Решив систему уравнений, получим:

$$\begin{cases} \rho_{00} = \frac{1}{P_{00}^{0x1} \cdot P_{0x1}^{10} + P_{00}^{11} \cdot P_{11}^{10} + P_{00}^{0x1} + P_{00}^{11} + 1}, \\ \rho_{11} = \frac{P_{00}^{11}}{P_{00}^{0x1} \cdot P_{0x1}^{10} + P_{00}^{11} \cdot P_{11}^{10} + P_{00}^{0x1} + P_{00}^{11} + 1}, \\ \rho_{10} = \frac{P_{00}^{0x1} \cdot P_{0x1}^{10} + P_{00}^{11} \cdot P_{11}^{10}}{P_{00}^{0x1} \cdot P_{0x1}^{10} + P_{00}^{11} \cdot P_{11}^{10} + P_{00}^{0x1} + P_{00}^{11} + 1}, \\ \rho_{0x1} = \frac{P_{00}^{0x1}}{P_{00}^{0x1} \cdot P_{0x1}^{10} + P_{00}^{11} \cdot P_{11}^{10} + P_{00}^{0x1} + P_{00}^{11} + 1}. \end{cases}$$

Для определения функций распределения времен пребывания системы в подмножествах E_+ и E_- воспользуемся методом путей [13], разработанным авторами.

Запишем все возможные пути перехода системы из подмножества E_+ в E_- .

$$\begin{aligned} W_1^1 &= \{S_{00}\}, \quad W_2^1 = \{S_{00} S_{0x1} S_{00}\}, \quad W_3^1 = \{S_{00} S_{0x1} S_{00} S_{0x1} S_{00}\}, \dots, \quad W_n^1 = \{S_{00} S_{0x1} S_{00} \dots S_{0x1} S_{00}\}, \\ W_1^2 &= \{S_{00} S_{0x1}\}, \quad W_2^2 = \{S_{00} S_{0x1} S_{00} S_{0x1}\}, \quad W_3^2 = \{S_{00} S_{0x1} S_{00} S_{0x1} S_{00} S_{0x1}\}, \dots, \\ W_n^2 &= \{S_{00} S_{0x1} S_{00} \dots S_{0x1} S_{00} S_{0x1}\}. \end{aligned}$$

Гипотезы реализации каждого из путей:

H_1^1 – система попадает в состояние S_{00} один раз и выходит в E_- .

H_2^1 – система попадает в состояние S_{00} два раза в S_{0x1} один раз и выходит в E_- .

H_3^1 – система попадает в состояние S_{00} три раза в S_{0x1} два раза и выходит в E_- .

H_n^1 – система попадает в состояние S_{00} n раз в S_{0x1} n-1 раз и выходит в E_- .

H_1^2 – система попадает в состояние S_{00} один раз в S_{0x1} один раз и выходит в E_- .

H_2^2 – система попадает в состояние S_{00} два раза в S_{0x1} два раза и выходит в E_- .

H_3^2 – система попадает в состояние S_{00} три раза в S_{0x1} три раза и выходит в E_- .

H_n^2 – система попадает в состояние S_{00} n раз в S_{0x1} n раз и выходит в E_- .

Вероятности реализации каждого из путей:

$$P(H_1^1) = P_{00}^{11}, P(H_2^1) = P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00} P_{00}^{11}, P(H_3^1) = P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00} P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00} P_{00}^{11},$$

$$\dots,$$

$$P(H_n^1) = P_{00}^{11} (P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00})^{n-1}, P(H_1^2) = P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{10}, P(H_2^2) = P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00} P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{10},$$

$$P(H_3^2) = P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00} P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00} P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{10},$$

$$\dots,$$

$$P(H_n^2) = P_{0x1}^{10} P_{00}^{0x1} (P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00})^{n-1}.$$

Запишем условные вероятности события А – «время пребывания системы во множестве состояний пути меньше t» для каждой гипотезы.

$$P(A | H_1^1) = F_{00}(t), P(A | H_2^1) = F_{00}(t) * F_{0x1}(t) * F_{00}(t),$$

$$P(A | H_3^1) = F_{00}(t) * F_{0x1}(t) * F_{00}(t) * F_{0x1}(t) * F_{00}(t),$$

$$\dots,$$

$$P(A | H_n^1) = F_{00}(t)^{(*)n} * F_{0x1}(t)^{(*)n-1}, P(A | H_1^2) = F_{00}(t) * F_{0x1}(t),$$

$$P(A | H_2^2) = F_{00}(t) * F_{0x1}(t) * F_{00}(t) * F_{0x1}(t),$$

$$P(A | H_3^2) = F_{00}(t) * F_{0x1}(t) * F_{00}(t) * F_{0x1}(t) * F_{00}(t) * F_{0x1}(t),$$

$$\dots,$$

$$P(A | H_n^2) = F_{00}(t)^{(*)n} * F_{0x1}(t)^{(*)n},$$

где * – знак операции свёртки, $(*)n$ – знак операции свёртки n-го порядка.

Функция распределения $F_+(t)$ времени пребывания системы в подмножестве E_+ имеет вид:

$$F_+(t) = P_{00}^{11} \sum_{n=1}^{\infty} (P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00})^{n-1} F_{00}(t)^{(*)n} * F_{0x1}(t)^{(*)n-1} +$$

$$+ P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{10} \sum_{n=1}^{\infty} (P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00})^{n-1} F_{00}(t)^{(*)n} * F_{0x1}(t)^{(*)n}.$$

Перейдя в комплексную область, получим:

$$F_+(s) = P_{00}^{11} \sum_{i=1}^{\infty} (P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00})^{i-1} F_{00}(s)^i F_{0x1}(s)^{i-1} + P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{10} \sum_{i=1}^{\infty} (P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00})^{i-1} F_{00}(s)^i F_{0x1}(s)^i.$$

Слагаемые представляют собой сумму двух бесконечных сходящихся рядов, которые в пределе дают нам следующее выражение:

$$F_+(s) = \frac{P_{00}^{11} F_{00}(s)}{1 - P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00} F_{00}(s)} + \frac{P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{10} F_{00}(s) F_{0x1}(s)}{1 - P_{00}^{0x1} P_{0x1}^{00} F_{00}(s) F_{0x1}(s)}.$$

Перейдя из области изображений в область оригиналов, получим искомую функцию.

Пример моделирования системы.

Исходными данными для моделирования служат функции распределения $F_1(t)$, $F_2(t)$, $F_3(t)$, $G_1(t)$,

$G_2(t)$, которые распределены по закону Эрланга 2-го порядка с параметрами:

$$\lambda_{11} = 2 \text{ ч}^{-1}, \lambda_{12} = 0.05 \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_{21} = 1 \text{ ч}^{-1}, \lambda_{22} = 0.2 \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_{31} = 1 \text{ ч}^{-1}, \lambda_{32} = 0.5 \text{ ч}^{-1};$$

$$\beta_{11} = 0.5 \text{ ч}^{-1}, \beta_{12} = 0.4 \text{ ч}^{-1};$$

$$\beta_{21} = 0.5 \text{ ч}^{-1}, \beta_{22} = 0.1 \text{ ч}^{-1}.$$

На рис. 2 приводится функция распределения $F_+(t)$ и плотность распределения $f_+(t)$ времени пребывания системы в подмножестве E_+ .

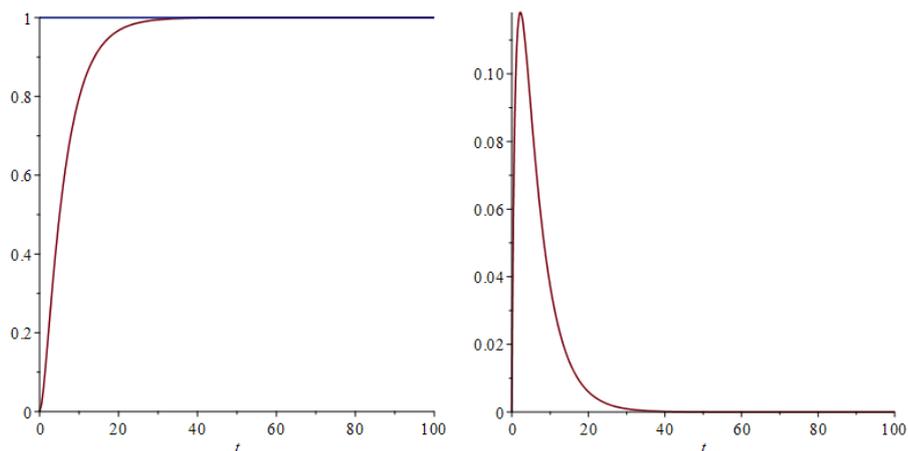


Рис. 2. Вид ФР и ПР времени пребывания системы в подмножестве E_+

Для подтверждения правильности результатов сравним значения математического ожидания полученной нами функции и математического ожидания, определяемого на основании теоремы о среднем стационарном времени пребывания полумарковского процесса в подмножестве состояний [10]

$$T_+ = \frac{\sum_{i \in E_+} m_i \rho_i}{\sum_{k \in K \subset E_+} \sum_{i \in E_-} P_{kj} \rho_i} \quad (1)$$

Математическое ожидание полученной нами ФР 6,616932165.

Математического ожидания на основании формулы (1) 6,616933618.

Проведенное сравнение математических ожиданий времен пребывания в подмножестве работоспособных состояний, полученных на основании найденной в работе функции распределения и на основании теоремы о среднем стационарном времени пребывания полумарковского процесса в подмножестве состояний, показало правильность полученных результатов.

В дальнейших исследованиях планируется применение метода для моделирования более сложных систем технического обслуживания в автоматизированном производстве, а также применение построенной модели при оптимизации времен проведения профилактик в исследуемых системах.

Список литературы

1. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. М.: Радио и связь, 1988. 392 с.
2. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. Учебное пособие. М.: Высш. шк., 1982. 231 с.
3. Королюк В.С., Турбин А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. Киев: Наукова думка, 1982. 236 с.
4. Королюк В.С. Стохастические модели систем. Отв. ред. А.Ф. Турбин. Киев: Наукова думка, 1989. 208 с.
5. Королюк В.С. Суперпозиция процессов марковского восстановления. Кибернетика. 1981. №4. С. 121 – 124.
6. Королюк В.С., Турбин А.Ф. Полумарковские процессы и их приложения. К.: Наук. Думка, 1976. 181 с.
7. Peschansky A.I. Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input. Germany: LAP LAMPERT Academic Publishing, 2013. 138 p.
8. Райншке К., Ушаков И.А. Оценка надежности систем с использованием графов. М.: Радио и связь, 1988. 208 с.
9. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Стохастические модели автоматизированных производственных систем с временным резервированием. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2000. 284 с.

Заморёнов Михаил Вадимович, канд. техн. наук, доцент, zamoryonoff@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,

Чаленков Никита Игоревич, ассистент, chalenkov-nikita@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,

Копп Вадим Яковлевич, д-р техн. наук, профессор, kopp@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

MODELING OF A SYSTEM WITH REPLACEMENT OF AN ELEMENT DURING ITS CONTROL

M.V. Zamoryonov, N.I. Chalenkov, V.Ya. Kopp

In the article, using the apparatus of semi-Markov processes, an analysis of the functioning of the system is carried out with the replacement of an element during its control. The enlargement of a system with a continuous phase space of states is carried out using a method that does not require determining the stationary distribution of the embedded Markov chain for a continuous system. For an enlarged system, the transition probabilities and stationary distribution of the embedded Markov chain are determined, as well as the times the system stays in states. Using the path method, paths for the system to transition from a subset of operational states are found, and the distribution function for the time the system stays in this subset is determined. The simulation results are compared with data obtained using the theorem on the average time a system spends in a subset of states. The form of the required distribution function is given.

Key words: semi-Markov system, distribution function, path method, control, element replacement.

Zamoryonov Mikhail Vadimovich, candidate of technical science, docent, zamoryonoff@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University,

Chalencov Nikita Igorevich, assistant, chalencov-nikita@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University,

Kopp Vadim Yakovlevich, doctor of technical sciences, professor, v.kopp@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

УДК 004.021

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-87-88

ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА ЖИЛЬЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ДОБЫЧИ ЗНАНИЙ

Ю.А. Леонов, А.А. Мартыненко, Л.Б. Филиппова, И.И. Живодовский

Статья посвящена актуальной проблеме прогнозирования стоимости жилой недвижимости в Российской Федерации. Приведено решение задачи прогнозирования стоимости на основе использования кластеризации и метода градиентного бустинга. Особое внимание уделено нормализации и предварительной обработке исходных данных, выбору параметров кластеризации и прогностической модели, а также способу визуализации промежуточных этапов анализа. Проведен анализ эффективности использования алгоритма прогностической модели.

Ключевые слова: машинное обучение, кластеризация, прогнозирование, визуализация, недвижимость, интеллектуальный анализ, градиент.

Рынок недвижимости является отраслевым рынком с достаточно сложной системой организации. Данная отрасль находится под влиянием многих факторов. В процессе его развития появляются определенные особенности и закономерности в поведении продавца и покупателя. Направление развития рынка зависит как от отраслевых, так и от макроэкономических и институциональных факторов. В связи с этим рынок недвижимости является достаточно нестабильной отраслью. Любые изменения на рынке могут стать поводом для спекуляций и преднамеренного увеличения цен на недвижимость.

Рынок недвижимости требует постоянного мониторинга для определения его текущего состояния, но не каждый способен самостоятельно разобраться со всеми тонкостями данной отрасли. Человек, который хочет приобрести или продать жилье, вынужден либо затратить немало времени для анализа, либо привлечь специалистов со стороны, что ведет к дополнительным затратам. Одной из основных проблем анализа является оценка стоимости недвижимости. Это довольно длительный и трудоемкий процесс. В связи с этим существует потребность в его автоматизации. Это существенно сократит время, затраченное на анализ рынка жилья, а также облегчит процедуру выявления рыночной стоимости объекта недвижимости.

Задачи определения и прогнозирования цены решаются достаточно трудоемким способом и требуют обработки большого количества информации. На данный момент в распоряжении крупных компаний по продаже жилой недвижимости находятся большие объемы данных, подходящих для построения моделей прогнозирования стоимости жилья. Применяя к ним методы машинного обучения, можно сократить затраты на решения данной задачи.

Целью данного исследования является разработка модели прогнозирования стоимости недвижимости. Для выполнения поставленной цели необходимо реализовать следующие задачи:

- анализ ранее проведенных исследований;
- выбор формализованных моделей и методов;
- разработка алгоритмов и моделей прогнозирования;
- анализ результатов исследования.

Результаты исследовательской работы возможно применить с практической точки зрения для разработки автоматизированной системы анализа рынка недвижимости, а также на площадках продажи жилья для определения рыночной стоимости выставляемого на продажу объекта или соответствия существующего предложения рыночной стоимости.

В России разработки по прогнозированию и оценке стоимости объектов рыночной отрасли с использованием методов машинного обучения только набирают обороты, поэтому научные исследования в данном направлении являются актуальными.

Теория. В 2021 году в журнале «Наука Красноярья» опубликована статья на тему «Применение машинных алгоритмов для прогнозирования стоимости недвижимости» [1], целью которой является анализ методов машинного обучения для прогнозирования цены жилой недвижимости.

В исследовании был проанализирован набор статистически данных, состоящий из 1460 строк и 10 столбцов. Он содержит информацию о площади земельного участка, количестве спален, ванных комнат, об оценке качества жилья и состоянии жилой недвижимости, о количестве каминов, площади гаража, количестве комнат.

При построении модели прогнозирования были выбраны следующие методы обучения нейронных сетей:

стохастический градиентный спуск (SGD);

метод адаптивного градиента (Adagrad);

метод адаптивного скользящего среднего градиентов (RMSprop);

метод адаптивного шага обучения (Adadelat);

метод Адама (Adam).

Модель реализована в виде нейронной сети с двумя скрытыми слоями. В качестве активационной функции нейронов использованы сигмоидальная для входного слоя, и ReLu для промежуточных слоев. Обучение модели проводилось на трех группах данных: обучающее (70%), тестовое (15%) и вариационное множества (15%).

Для оценки точности использованы показатели: общая оценка обучения, максимальная ошибка, средняя абсолютная ошибка, средняя квадратичная ошибка и медианная абсолютная ошибка.

Результаты оценки точности показали, что метод RMSprop имеет лучшую сходимость, общая оценка обучения составила 96%. При использовании метода SGD общая оценка обучения составила 63%. По другим показателям метод SGD характеризуется меньшими значениями ошибок в сравнении с другими Adadelat, Adagrad, Adam. В целом метод RMSprop характеризуется лучшей сходимостью. Значения средней квадратической ошибки меньше, чем у методов Adadelat, Adagrad, Adam.

В международном научном журнале «International Journal of Strategic Property Management» [2] опубликована статья на тему исследования динамики рынка жилья с использованием метода опорных векторов. Автор использует данные о продаже недвижимости, содержащиеся в базе данных тайваньского портала недвижимости Gighouse. Набор данных содержит информацию о 3991 сделке.

Для оценки точности разработанной аналитической модели использован коэффициент совпадений (hit-rate). Точность модели составила 70%, что является достаточно низким показателем для ее использования с практической точки зрения в сфере продажи и покупки недвижимости.

Из рассмотренных исследований можно выделить следующие ключевые аспекты для разработки аналитических моделей:

1. Использование данных о продажах недвижимости только в РФ.

2. Количество анализируемых данных не менее 1 миллиона.

3. Использование корреляционного анализа для определения степени влияния характеристик жилья на его стоимость.

4. Разработка модели прогнозирования стоимости жилья, обеспечивающей точность не менее 90%.

Данные и методы. Исследуемый набор данных состоит из объявлений, опубликованных на популярных в России площадках о продаже недвижимости (avito.ru, cian.ru, moyareklama.ru, youla.ru). Он содержит список объектов жилой недвижимости Российской Федерации с их характеристиками и стоимостью.

Набор данных содержит 11.3 миллионов объектов жилой недвижимости, которые распределены по всей территории Российской Федерации. Карта территориального распределения жилья изображена на рисунке 1.

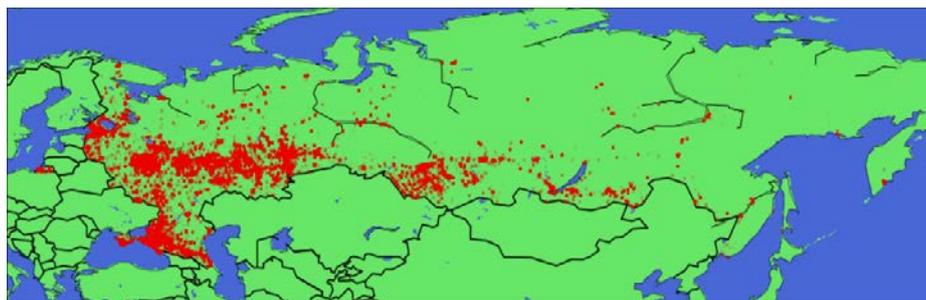


Рис. 1. Территориальное распределение недвижимости

Характеристики объекта недвижимости, содержащиеся в исследуемом наборе данных:

географические координаты недвижимости;

регион России, в котором расположен объект недвижимости;

тип строения (панельное, монолитное, кирпичное, блочное, деревянное и другие);

тип жилья (вторичное, новое);

количество этажей в доме;

этаж, на котором расположена недвижимость;

количество комнат;

площадь объекта недвижимости;

площадь кухни;

цена недвижимости;

почтовый индекс;

идентификатор улицы;

номер региона РФ;

номер дома.

Исследуемые данные содержат некоторое число аномальных значений, которые необходимо удалить для построения качественной модели машинного обучения.

В ходе проведения экспресс-анализа с помощью функции describe() из библиотеки Pandas [3, 11] были выявлены некорректные данные (рисунок 2).

	price	level	levels	rooms	area	kitchen_area	geo_lat	geo_lon	building_type	object_type	id_region
count	11358150.00	11358150.00	11358150.00	11358150.00	11358150.00	11358150.00	11358150.00	11358150.00	11358150.00	11358150.00	11358150.00
mean	6787516.41	6.43	11.76	1.72	53.10	-2.67	54.40	52.30	1.02	0.53	51.26
std	197711828.43	5.28	7.22	1.16	27.13	32.42	4.58	21.84	1.56	0.88	22.51
min	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-100.00	41.44	-173.22	0.00	0.00	1.00
25%	2600000.00	2.00	5.00	1.00	36.50	0.00	53.19	37.64	0.00	0.00	31.00
50%	3985000.00	5.00	10.00	2.00	46.70	6.50	55.65	42.02	0.00	0.00	54.00
75%	6500000.00	9.00	17.00	2.00	63.00	10.50	56.87	65.47	2.00	2.00	72.00
max	635552400000.00	50.00	50.00	9.00	499.90	408.00	73.51	179.26	6.00	2.00	200.00

Рис. 2. Результат работы функции describe()

По полученному результату можно сделать вывод, что объекты недвижимости, имеющие следующие характеристики, необходимо удалить:

- цена меньше 100 тыс. и больше 1 млрд. рублей;
- количество этажей и этаж, на котором расположена недвижимость, меньше или равны нулю;
- площадь меньше 10 м²;
- площадь кухни меньше 3 м²;
- общая площадь недвижимости меньше площади кухни;
- количество комнат равных нулю.

В процессе дальнейшего изучения набора было найдено некоторое количество «аномалий». Одно из них – завышенные цены при площади недвижимости до 100 м² (рисунок 3).

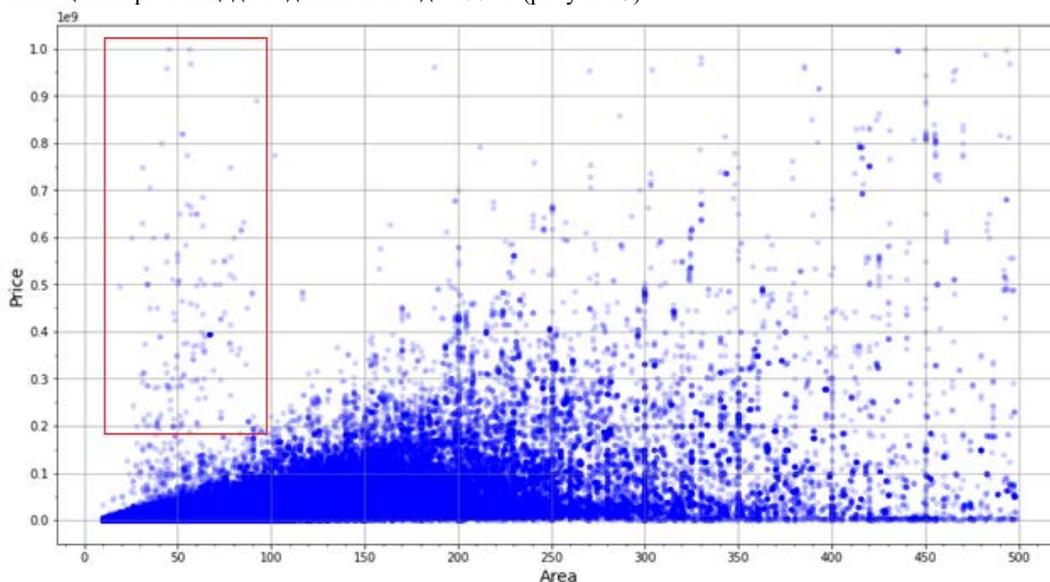


Рис. 3. Аномалия завышенной стоимости недвижимости

Также в исследуемом наборе был найден регион с индексом 200. В России региона с таким номером не существует, следовательно необходимо определить, какой регион подразумевается по этим индексом (рисунок 4).

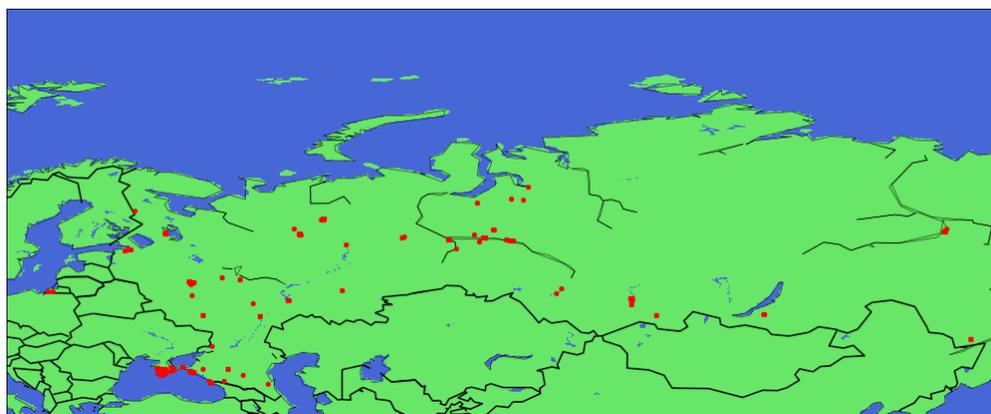


Рис. 4. Географическое расположение региона «200»

Недвижимость с индексом региона 200 нельзя сопоставить к каким-либо регионом РФ. Следовательно, необходимо удалить данные о такой недвижимости из выборки.

В ходе дальнейшей обработки данных замечено, что некоторое количество недвижимости находится за пределами РФ. Их также необходимо исключить из выборки.

Полученный после обработки набор данных был использован для дальнейшего анализа.

Начальный набор данных был разбит на обучающую и тестовую выборку. Обучающая выборка составляет 80% от исходной и используется для обучения моделей. Оставшаяся часть используется для проверки точности и других показателей моделей и методов.

Для проведения исследования были выбраны следующие методы интеллектуального анализа данных:

кластеризация (K-Means);

корреляционный анализ.

Метод кластеризации был применен к исходному набору данных без параметров его географического расположения. С помощью метода локтя [4, 10] было определено оптимальное число кластеров (рисунок 5).

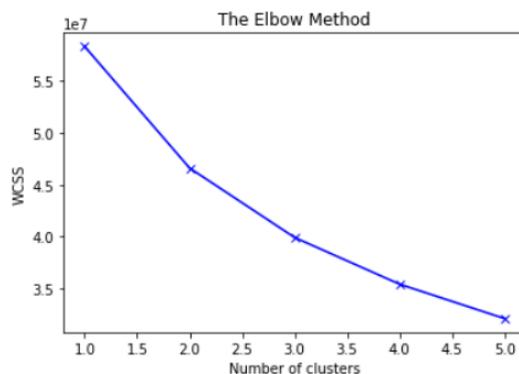


Рис. 5. Результат метода локтя

Метод локтя выявил, что оптимальным для выбранного набора является три кластера. После проведения кластеризации и анализа ее результатов можно заметить, что значения центроидов соотносятся с общепринятыми классами недвижимости: эконом, комфорт и бизнес. Средней стоимостью для каждого класса является 4 млн. р, 6,5 млн. р. и 18,4 млн. р. соответственно (рисунок 6).

	price	area	kitchen_area	levels	rooms	level	object_type	id_region
business	18413804.15	102.48	19.28	13.25	3.12	6.98	0.23	59.79
comfort	6554553.09	48.16	12.13	19.00	1.36	11.13	0.63	56.93
econom	4088371.81	48.02	8.53	7.69	1.82	3.99	0.02	48.37

Рис.6. Значения центров кластеров

Наибольшее количество объектов недвижимости относится к классу «эконом», затем к классу «комфорт» и наименьшее количество в классе «бизнес» (рисунок 7).



Рис.7. Распределение недвижимости по классам

Следующим этапом был проведен корреляционный анализ и выявлена степень влияния характеристик жилья на его стоимость:

Географическая долгота (-0.15).

Тип строения (-0.04).

Является ли жилье новым или вторичным (0.06).

Географическая широта (0.08).

Номер этажа (0.13).

Общее количество этажей в доме (0.17).
 Регион расположения (0.2).
 Количество комнат (0.25).
 Площадь кухни (0.35).
 Площадь помещений (0.52).

Проведенный корреляционный анализ подтвердил ранее известные факты влияния характеристик жилья на формирование его итоговой стоимости. Основное влияние на цену оказали: площадь помещений, площадь кухни, количество комнат, количество этажей в доме и регион расположения.

Для построения модели машинного обучения были выбраны следующие методы:
 линейная регрессия (LinearRegression);
 регрессия лассо (LASSO);
 гребневая регрессия (Ridge);
 градиентным бустингом на основе деревьев решений (LightGBM).

Линейные модели построены с помощью библиотеки scikit-learn [5,9] и ее методов: LinearRegression, LassoCV, RidgeCV.

Оценка точности линейных моделей производилась с использованием метрики R2. Модели линейной регрессии, регрессии лассо и гребневой регрессии показали низкую точность прогнозирования (рисунок 8). Точность моделей составила около 40%.

Точность линейной регрессии: 0.3971717878308657
 Точность гребневой регрессии: 0.3971717878308648
 Точность регрессии лассо: 0.3966353083150568

Рис.8. Точность моделей регрессии

Следующим исследуемым методом является градиентный бустинг с ансамблем в виде деревьев решений. Для создания модели использован фреймворк LightGBM [6].

В качестве параметров для обучения модели была выбрана метрика RMSE, а также ансамбль в размере 7000 деревьев решений.

Модель прогнозирования была применена отдельно к каждому классу недвижимости, которые были выявлены на предыдущем этапе. В качестве метрики выбрана среднеквадратическая ошибка и коэффициент детерминации.

Результатом работы модели градиентного бустинга является числовое значение целевого параметра [7,8]. В нашем случае это стоимость недвижимости. Для наглядности была сформирована сравнительная таблица реальной стоимости и стоимости, спрогнозированной разработанной моделью (рисунок 9).

Оценку точности модели можно отобразить в виде графиков, на которых отображено отношение реальной стоимости к прогнозируемой (рисунок 10).

	data	pred
0	2750000	2958197
1	1500000	1626380
2	12857044	1122683
3	3333792	3593345
4	2530000	2628437
5	4682170	5018280
6	1960800	2326602
7	4850000	4940605
8	3000000	3443649

Рис. 9. Сравнение реальной стоимости и предсказанной

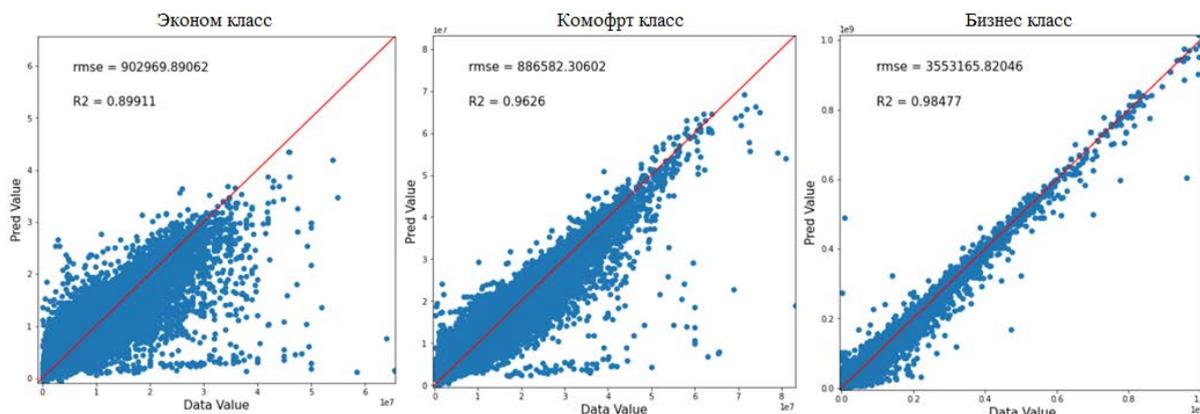


Рис. 10. Точность разработанной модели для каждого класса недвижимости

Ось абсцисс соответствует реальной цене из тренировочного набора, а ось ординат прогнозируемой стоимости. Чем ближе точки к диагонали, тем выше точность модели. Из графика видно, что большая часть точек расположена в окрестностях диагонали. Данный вывод показывает качество построенной модели.

Результаты исследований и их обсуждение. Кластерный анализ был проведен методом «K-Means». С помощью данного метода были выявлены основные общепринятые классы недвижимости: эконом, комфорт и бизнес.

К классу «эконом» чаще всего относится вторичное жилье с количеством комнат от 1 до 2, общей площадью 48 м² и площадью кухни 8,5 м². Средняя стоимость подобной недвижимости равна 4 млн. р. К классу «комфорт» может относиться как новое, так и вторичное жилье с количеством комнат от 1 до 2, общей площадью 48 м² и площадью кухни 12 м². Средняя стоимость подобной недвижимости равна 6,5 млн. р. К классу «бизнес» может относиться как новое, так и вторичное жилье со средним количеством комнат равным 3, общей площадью 102 м² и площадью кухни 19 м². Средняя стоимость подобной недвижимости равна 18 млн. р.

Проведенный корреляционный анализ подтвердил ранее известные факты влияния характеристик жилья на формирование его итоговой стоимости. Основное влияние на цену оказали: площадь помещений, площадь кухни, количество комнат, количество этажей в доме и регион расположения.

Кластерный анализ позволил разработать более точную модель прогнозирования, за счет разделения основного набора данных на 3 класса. Для каждого класса была разработана и обучена своя модель. Лучшую точность показали модели, построенные на основе данных о недвижимости «эконом» и «комфорт» классов.

Точность для класса «эконом»:

RMSE = 902969;

R² = 0,89.

Точность для класса «комфорт»:

RMSE = 886582;

R² = 0,96.

Точность для класса «бизнес»:

RMSE = 3553165;

R² = 0,98.

Разработанные модели возможно применить с практической точки зрения в сфере покупки или продажи жилой недвижимости. Например, внедрить разработанную модель в качестве дополнительного модуля на площадках по продаже недвижимости для оценки соответствия рыночной стоимости опубликованного объявления о продаже объекта жилой недвижимости.

Еще одним примером использования является прогнозирование стоимости в момент составления объявления о продаже недвижимости.

Сфера жилой недвижимости развивается стремительными темпами. Рынок недвижимости содержит предложения с заниженной, рыночной и завышенной ценой. В связи с этим необходимо следить за развитием рынка и оценивать его текущее состояние. Зачастую, основным критерием при выборе недвижимости является её стоимость. Исследуемая модель помогает не ошибиться при оценке данного критерия и подобрать жилье, соответствующее его рыночной стоимости.

Также следует отметить, что для измерения рыночной стоимости недвижимости требуются определенные знания и время для анализа текущего состояния рынка. Не каждый человек обладает подобными знаниями и достаточным свободным временем.

Разработанные модели будут полезны как для продавца, так и для покупателя. Продавцу не требуется тратить много времени для анализа рынка и выявления стоимости недвижимости, а необходимо лишь ввести характеристики своего жилья. Покупателю также не нужно тратить много свободного времени на то, чтобы определить, насколько приемлемой является цена недвижимости, которую установил продавец. Таким образом, разработанные алгоритмы, помогут продавцу и покупателю не быть обманутыми при покупке или продаже недвижимости.

Заключение. В результате исследования было разработано следующие модели машинного обучения:

Модель кластеризации.

Модель прогнозирования стоимости жилой недвижимости.

Кластерный анализ помог построить более качественную прогностическую модель за счет разбиения недвижимости на классы: эконом, комфорт, бизнес.

Из проведенного исследования следует, что наилучший результат прогнозирования показала модель деревьев решений с градиентным бустингом. Она наилучшим образом определяет рыночную стоимость жилой недвижимости.

Разработанные методы и алгоритмы были использованы в качестве основного функционала веб-сервиса для определения рыночной стоимости жилой недвижимости.

Список литературы

- 1.Pavlova A., Korzh, A. Применение машинных алгоритмов для прогнозирования стоимости недвижимости // Наука Красноярья, 2021. 10(4), 171-180.
- 2.J.Chen, C.Ong, L.Zheng, S.Hsu «Forecasting Spatial Dynamics of the Housing Market Using Support Vector Machine» // International Journal of Strategic Property Management. 2017. Vol. 23(3). P.273–283
- 3.Pandas documentation – Pandas. [Электронный ресурс] URL: <https://pandas.pydata.org/docs> (дата обращения: 10.01.2024).
- 4.Чио К. Машинное обучение и безопасность : руководство / К. Чио, Д. Фримэн ; перевод с английского А. В. Снастина. М.: ДМК Пресс, 2020. 388 с.
- 5.Machine Learning in Python – Scikit-learn. [Электронный ресурс] URL: <https://scikit-learn.org/stable/index.html> (дата обращения: 11.01.2024).

6. ML-Фреймворк LightGBM для градиентного бустинга – PythonRu [Электронный ресурс] URL: <https://pythonru.com/biblioteki/lightgbm> (дата обращения: 11.01.2024).

7. Градиентный бустинг – Machine Learning Handbook [Электронный ресурс] URL: https://ml-handbook.ru/chapters/grad_boost/intro (дата обращения: 11.01.2024).

8. Kuzmenko A., Kondratenko S, Dergachev K, Spasennikov V. Ergonomic support for logo development based on deep learning В сборнике трудов: CEUR WORKSHOP PROCEEDINGS 30. Сер. "GraphiCon 2020 - Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision" Том 2744.

9. Kuzmenko A.A., Averchenkov A.V., Sazonova A.S. Neural network analysis of ecological and floristic classification as a basis for protection of regional biodiversity В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019", 2020. С. 042029.

10. Филиппова Л.Б., Филиппов Р.А., Кузьменко А.А. Применение технологий визуализации игрового контента при создании обучающей игры // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. Вып. 7. С. 123-132.

11. Сазонова А.С., Филиппова Л.Б., Филиппов Р.А., Леонов Ю.А., Мартыненко А.А. Теория и системы управления: лабораторный практикум. Брянск: БГТУ, 2017. 46 с.

Леонов Юрий Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, yorleon@yandex.ru, Россия, Брянск, Брянский государственный технический университет,

Филиппова Людмила Борисовна, канд. техн. наук, доцент, libv88@mail.ru, Россия, Брянск, Брянский государственный технический университет,

Мартыненко Алексей Александрович, канд. техн. наук, доцент, martynenko_alex@mail.ru, Россия, Брянск, Брянский государственный технический университет,

Живодовский Иван Иванович, студент, libv88@yandex.ru, Россия, Брянск, Брянский государственный технический университет

RESEARCH OF THE HOUSING MARKET IN THE RUSSIAN FEDERATION USING DATA MINING METHODS

Yu.A. Leonov, A.A. Martynenko, L.B. Filippova, I.I. Zhivodovsky

The article is devoted to the actual problem of forecasting the cost of residential real estate. The solution of the cost forecasting problem based on the use of clustering and the gradient boosting method is given. Particular attention is paid to the normalization and preprocessing of the initial data, the choice of clustering parameters and a predictive model, as well as a way to visualize the intermediate stages of analysis. The analysis of the effectiveness of the use of the predictive model algorithm is carried out.

Key words: machine learning, clustering, forecasting, visualization, real estate, intelligent analysis, gradient.

Leonov Yuri Alekseevich, candidate of technical sciences, docent, yorleon@yandex.ru, Russia, Bryansk, Bryansk State Technical University,

Filippova Lyudmila Borisovna, candidate of technical sciences, docent, libv88@mail.ru, Russia, Bryansk, Bryansk State Technical University,

Martynenko Alexey Alexandrovich, candidate of technical sciences, docent, martynenko_alex@mail.ru, Russia, Bryansk, Bryansk State Technical University,

Zhivotovsky Ivan Ivanovich, student, libv88@yandex.ru, Russia, Bryansk, Bryansk State Technical University

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ ПРОФЕССИЙ И В ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

С.И. Цехош, Б.В. Журавский

Компьютерные технологии являются незаменимым инструментом в работе инженеров-конструкторов, а также при их обучении. Подготовка будущих инженеров-конструкторов осуществляется с применением компьютерных технологий, которые позволяют повысить наглядность учебного материала, облегчают анализ особенностей геометрии внешних поверхностей и внутреннего устройства деталей и сборочных единиц за счёт двухмерного и трёхмерного моделирования. Применение данных технологий позволяет повысить уровень грамотности специалиста, так как для эффективной инженерной работы недостаточно наличия только знаний и умений по использованию специальных программ, требуются знания технической и нормативной документации, умение читать технические задания, а также навыки конструирования.

Ключевые слова: компьютерные технологии, трёхмерное моделирование, условное обозначение, рабочий чертёж, пространственное мышление.

Применение компьютерных технологий имеет большое значение в инженерных специальностях [1, 2, 3]. В статье рассмотрено применение двухмерного и трёхмерного моделирования в инженерных профессиях. Инженер в настоящее время должен уметь не только просто использовать конструкторскую, нормативно-справочную и техническую документацию, но также быть технически грамотным, иметь развитое пространственное мышление, применять творческий подход при выполнении конструкторской работы, использовать компьютерные технологии опираясь на свои знания, умения и навыки (ЗУН).

В 1989 году была разработана одна из самых популярных в Российской Федерации специальных компьютерных программ - программа «КОМПАС» и, если в те времена применение подобных программ было достаточно редким, то в настоящее время не одно техническое учебное заведение и машиностроительное предприятие не обходится без применения специальных программ, относящихся к системам автоматизированного проектирования [4].

Как показывает практика, при подготовке будущих инженеров часто возникают сложности при рассмотрении и понимании графических технических заданий, представленных в двухмерном виде – на плоскости, так как не у всех достаточно хорошо развито пространственное мышление [5, 6, 7].

Для решения данной проблемы могут применяться трёхмерные модели (рисунок), которые позволяют рассмотреть деталь в объеме, а также наглядно и подробно показать её внутреннее строение [7, 8].

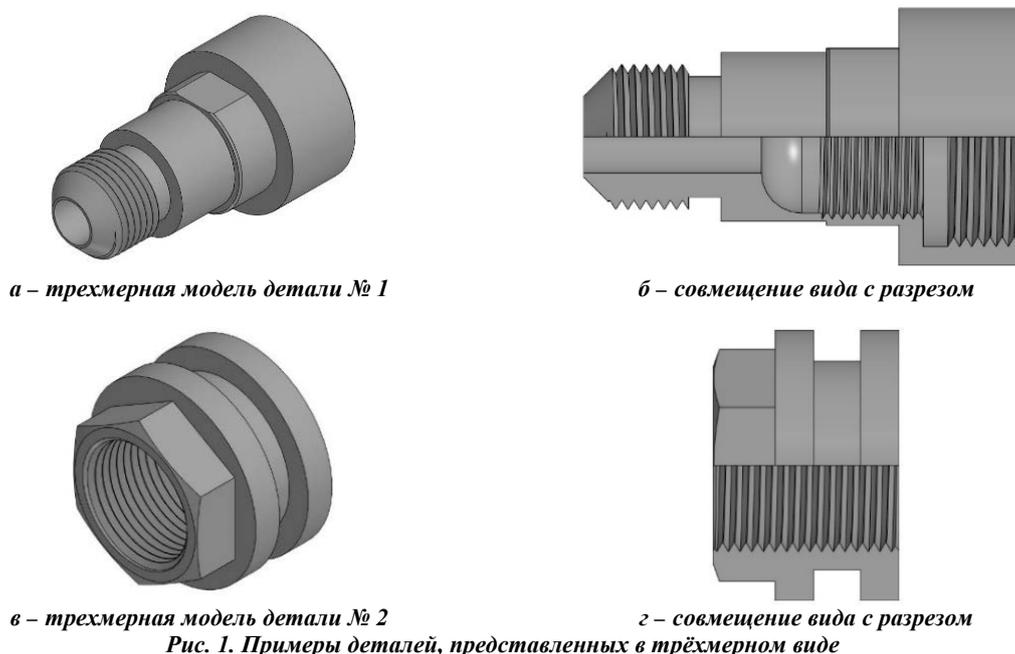
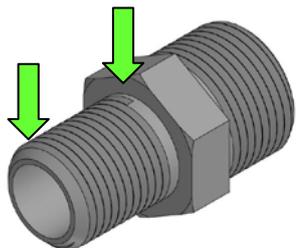


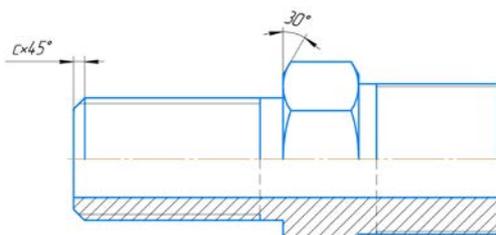
Рис. 1. Примеры деталей, представленных в трёхмерном виде

Ещё одной из сложностей, стоящей перед специалистом, является необходимость построения не просто трёхмерных моделей и получение рабочих чертежей на плоскости при помощи этих моделей, но и выполнение чертежей с учетом всех необходимых условных обозначений [9, 10]. Ниже приведена таблица, в которой представлены примеры трёхмерных моделей деталей, полученных при помощи программы «КОМПАС-3D», с показанными условными обозначениями элементов.

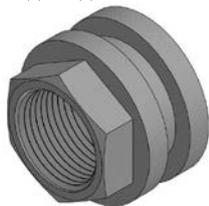
Наглядно представленная в графическом виде при помощи компьютерного моделирования информация о конструктивных элементах деталей может являться основой для формирования учебных заданий при обучении будущих инженеров [11] и базовой информацией при анализе технических заданий для действующих инженеров-конструкторов.



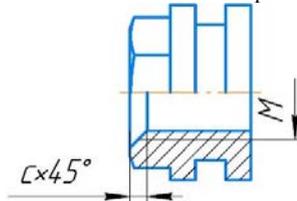
Трехмерная модель детали с внешней фаской



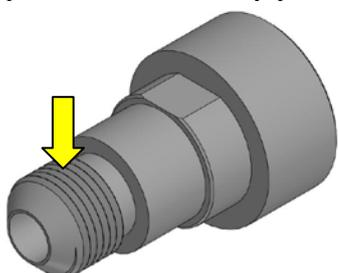
Условное обозначение фаски



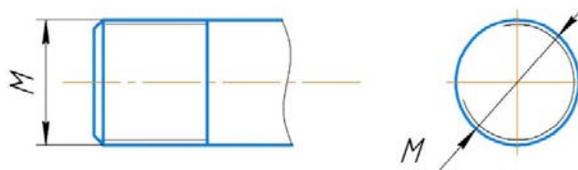
Трехмерная модель детали с внутренней фаской



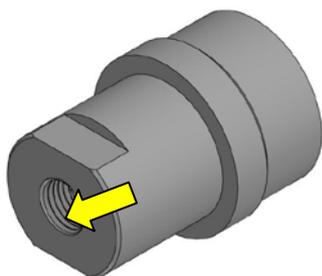
Условное обозначение фаски



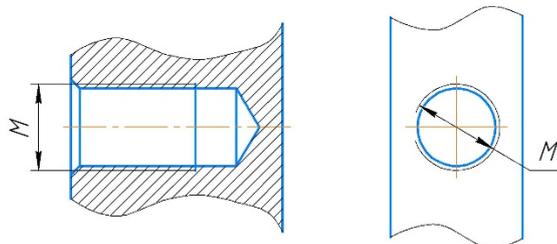
Трехмерная модель детали с наружной метрической резьбой



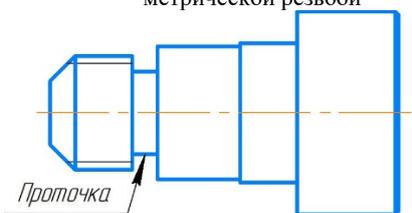
Обозначение наружной метрической резьбы



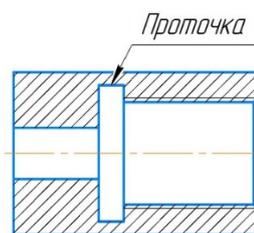
Трехмерная модель детали с внутренней метрической резьбой



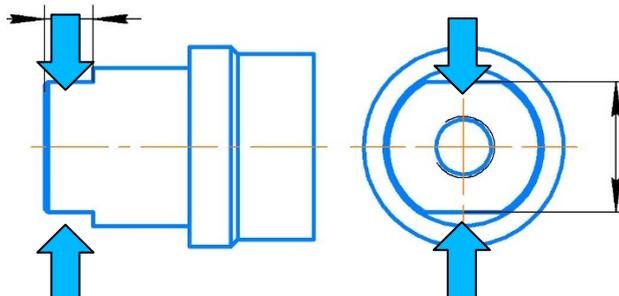
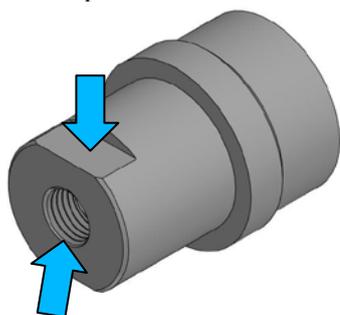
Обозначение внутренней метрической резьбы



Проточка внешняя



Проточка внутренняя



Условное обозначение лыски на главном виде и виде слева

Рис. 2. Примеры трёхмерных моделей деталей

Заключение. Двухмерное и трёхмерное компьютерное моделирование позволяет создавать учебный материал с высокой степенью наглядности, в результате возможно повысить уровень усвоения учебной информации и одновременно развивать пространственное мышление у обучающихся.

Компьютерные технологии позволяют непрерывно повышать профессиональный уровень инженеров-конструкторов, помогать в работе начинающих инженерных специалистов, облегчая понимание ими технических заданий в графическом виде за счёт хорошей визуализации.

Список литературы

1. Анамова Р.Р., Леонова С.А., Миролубова Т.И., Рипецкий А.В., Хвесьюк Т.М. Инновации в методике обучения инженерной графике // Вестник БГТУ, 2016. №3 (51), С. 309–317.
2. Учаев П.Н. Инженерная компьютерная графика. Вводный курс: учебник / П.Н. Учаев, С.Г. Емельянов, С.А. Чевычелов, Г.Ф. Горшков, К.П. Усачев, В.В. Горетый [и др.]; под общ. ред. проф. П.Н. Усачев. Старый Оскол: ТНТ, 2018. 216 с.
3. Учаев П.Н. Компьютерные технологии и графика. Атлас: Учебное пособие / П.Н. Учаев, С.Г. Емельянов, К.П. Усачев [и др.]; под общ. ред. П.Н. Усачев. Старый Оскол: ООО ТНТ, 2016. 276 с.
4. Хейфец, А.Л. Инженерная компьютерная графика. AutoCAD / А.Л. Хейфец. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 336 с.
5. Большаков В.П., Тозик В.Т., Чагина А.В. Информационные технологии в университетском курсе «Инженерная и компьютерная графика» // КИО, 2011. №4. С. 54–62.
6. Ваншина Е.А. Слайд-технология на основе 3D-моделирования в преподавании графо-геометрических дисциплин // Вестник ОГУ, 2014. №2 (163). С. 24–28.
7. Цехош П.И., Журавский Б.В., Жундубаев Р.Р., Цехош С.И., Применение современного программного обеспечения в учебном процессе при подготовке инженеров // Сб. материалов Национальной научно-методической конференции, приуроченной к Году педагога и наставника в Российской Федерации «Актуальные вопросы профессионального образования: качество, приоритеты, технологии», Омск, 22–23 марта 2023 года. Омск: Изд-во СибАДИ, 2023. С. 252-258.
8. Цехош С.И., Журавский Б.В., Цехош П.И., Жундубаев Р.Р. Профессиональное становление будущих инженеров в процессе применения нового графического метода в образовательном процессе // Сб. материалов Национальной научно-методической конференции, приуроченной к Году педагога и наставника в Российской Федерации «Актуальные вопросы профессионального образования: качество, приоритеты, технологии», Омск, 22–23 марта 2023 года. Омск: Изд-во СибАДИ, 2023. С. 265-271.
9. Скобелева И.Ю. Инженерная графика: учебное пособие / И. Ю. Скобелева [и др.] Ростов н/Д: Феникс, 2014. 299 с.
10. Ковалев В.А. Инженерная графика: учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный университет экономики и управления "НИНХ", 2017. 279 с.
11. Цехош С.И. Применение графического метода в процессе профессиональной подготовки будущих инженеров / С. И. Цехош, Б. В. Журавский // Известия Тульского государственного университета. Педагогика. 2023. Вып. 3. С. 62-68.

Цехош София Ивановна, канд. техн. наук, доцент, sofia.tsekhosh@yandex.ru, Россия, Омск, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет,

Журавский Борис Викторович, старший преподаватель, ra9meo@mail.ru, Россия, Омск, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет

THE USE OF COMPUTER TECHNOLOGY IN THE TRAINING OF FUTURE SPECIALISTS IN ENGINEERING PROFESSIONS AND IN ENGINEERING ACTIVITIES

S.I. Tsekhosh, B.V. Zhuravsky

Computer technologies are an indispensable tool in the work of design engineers, as well as in their training. The training of future design engineers is carried out using computer technologies that make it possible to increase the visibility of educational material, facilitate the analysis of the features of the geometry of external surfaces and the internal structure of parts and assembly units through two-dimensional and three-dimensional modeling. The use of these technologies makes it possible to increase the level of literacy of a specialist, since for effective engineering work it is not enough to have only knowledge and skills in using special programs, knowledge of technical and regulatory documentation, the ability to read technical specifications, as well as design skills are required.

Key words: computer technology, three-dimensional modeling, symbol, working drawing, spatial thinking.

Tsekhosh Sofia Ivanovna, candidate of technical sciences, docent, sofia.tsekhosh@yandex.ru, Russia, Omsk, Siberian State Automobile and Road University,

Zhuravsky Boris Viktorovich, senior lecturer, ra9meo@mail.ru, Russia, Omsk, Siberian State Automobile and Road University

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕЖРЕМОНТНЫХ СРОКОВ МКД
В РЕГИОНАХ РФ**

А.Ю. Кагазежев, Р.С. Фатуллаев

Настоящая статья посвящена анализу существующих подходов к определению межремонтного срока в многоквартирных домах (МКД) в регионах России. Исследование проведено путем выездных обследований в различные регионы (Калининград, Ставрополь, Подмосковье, Тула, Тюмень, Нижний Новгород), а также получения информации от 22 других регионов. Авторы осуществили сбор технической документации, провели анализ существующих методов, включая сравнение с общероссийскими стандартами (ВСН 53-86(р) и ВСН 58-88(р)), и выявили основные факторы, влияющие на межремонтные сроки в каждом регионе. Материалы и методы исследования включают в себя выездные обследования, анализ технической документации, систематизацию данных и статистический анализ. В ходе исследования обнаружено разнообразие подходов к определению межремонтного срока в регионах, а также значительные различия в применении стандартов ВСН 53-86(р) и ВСН 58-88(р). Полученные данные подчеркивают необходимость разработки новой, адаптивной методики, учитывающей региональные особенности и современные технологии. Выводы статьи выделяют основные результаты анализа и формулируют перспективы для дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: многоквартирные жилые дома, межремонтные сроки проведения капитального ремонта.

В современной динамике развития многоквартирных домов (МКД) в регионах России наблюдается значительное разнообразие подходов к определению межремонтного срока. Внедрение новых строительных материалов, технологий и изменения в климатических условиях создают неотложную потребность в актуальных и единых методиках, определяющих оптимальный интервал технического обслуживания жилых зданий.

В рамках нашего исследования мы осуществили выезды в различные регионы, включая Калининград, Ставрополь, Подмосковье, Тулу, Тюмень, Нижний Новгород, а также получили информацию от 22 других регионов. Этот комплексный анализ включал в себя обследование объектов, сбор технической документации, анализ существующих методов и обзор информации, предоставленной другими регионами.

В ходе нашего исследования мы обнаружили, что в каждом регионе применяются уникальные методы определения межремонтного срока, преимущественно опирающиеся на ВСН 53-86(р) "Правила оценки физического износа жилых зданий" и ВСН 58-88(р) "Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий". Однако, многие из этих методов устарели, не учитывают современные технологии и не принимают во внимание региональные особенности. [1-2]

На основе этих наблюдений и данных, полученных из разнообразных регионов, возникает неотложная потребность в разработке новой, адаптивной методики определения межремонтного срока для МКД. Наше исследование направлено на анализ существующих подходов, выявление их недостатков и разработку комплексного подхода, учитывающего как общероссийские стандарты, так и уникальные характеристики каждого региона.

Материалы и методы. Для достижения целей исследования проведен комплексный анализ существующих подходов к определению межремонтного срока многоквартирных домов в различных регионах России. Для полноценного исследования подходов к определению межремонтного срока в многоквартирных домах (МКД) в различных регионах России, был организован ряд выездных обследований и собраны разнообразные исходные данные.

В первую очередь определены регионы (Калининград, Ставрополь, Подмосковье, Тула, Тюмень, Нижний Новгород), представляющих различные климатические, географические и эксплуатационные условия. В каждом регионе выбраны многоквартирные дома разной этажности, типов фасадов и кровли. По каждому из домов проведены следующие виды работ:

Сбор и анализ проектно-сметной документации капитального ремонта МКД;

Определение типов строительных конструкций и инженерных систем по результатам предоставленной документации и визуального осмотра объектов;

Обследований выбранных объектов с целью оценки текущего технического состояния элементов строительных конструкций и инженерных систем МКД;

Анализ региональных постановлений и документов, регламентирующих процессы капитального ремонта и определение их влияния на методы определения межремонтного срока. [3]

Данный комплексный подход к сбору данных обеспечил широкий охват различных аспектов, влияющих на определение межремонтного срока, и обеспечивает основу для анализа и сравнения подходов в различных регионах России.

Исследование. По результатам проведенных работ были определены и сопоставлены различные региональные подходы к определению межремонтного срока, выделены различия и общие черты:

Основой для большинства подходов являлись ведомственные строительные нормы 80-х годов, по которым определялся срок эксплуатации.

В ряде регионов определение межремонтного срока производилось по результатам визуального осмотра.

В некоторых регионах межремонтные сроки не определялись, потребность в повторном капитальном ремонте определялась по результатам обращения жильцов с жалобами на состояние МКД. [4-7]

По результатам обследования МКД определены технические состояния конструкций и инженерных коммуникаций, выполнена типизация элементов строительных конструкций и инженерных сетей, а также анализ причин попадания данных объектов в краткосрочную программу. Как итог проделанной работы, сформирована база данных для обобщения результатов исследования, выявлены основные тренды и закономерности.

Выводы. Результаты проведенного исследования предоставляют важные исследовательские выводы, касающиеся разнообразных подходов к определению межремонтного срока многоквартирных домов в регионах России. Обширный обзор методов в различных регионах выявил значительное разнообразие подходов к определению межремонтного срока. Каждый регион ориентирован на уникальные климатические, географические и эксплуатационные особенности.

Анализ существующих методов подчеркнул, что многие из них, хоть и ориентированы на общероссийские стандарты (ВСН 53-86(р) и ВСН 58-88(р)), эти документы, хоть и были основой для многих методик определения межремонтных сроков, отражали устаревшие стандарты и технологии. [8-9]

Результаты исследования подчеркивают необходимость разработки новой адаптивной методики определения межремонтного срока для учета различий в региональных подходах и внедрения современных технологий и строительных материалов.

В свете полученных выводов предоставляются перспективы для дальнейших исследований, направленных на более глубокое изучение влияния конкретных факторов на межремонтные сроки и разработку универсальных рекомендаций. [10-11]

Обобщенные результаты настоящего исследования имеют важное значение для понимания разнообразия методов определения межремонтного срока в регионах России и могут служить основой для разработки единой адаптивной методики, способной удовлетворять уникальным условиям каждого региона.

Список литературы

1. Лapidус А.А. Оценка потенциала проведения внеплановых ремонтных работ многоквартирных жилых домов / А. А. Лapidус, Р. С. Фатуллаев // Научное обозрение. 2017. № 19. С. 10-13. EDN ZQLBJH.
2. Фатуллаев Р.С. Потребительское качество многоквартирного жилого дома как параметр, влияющий на состав организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 2(92). С. 149-155. EDN SSOITV.
3. Фатуллаев Р.С. Оценка факторов, влияющих на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта в домах с разной формой собственности / Р. С. Фатуллаев, С. Р. Айдаров // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 12(102). С. 119-122. EDN NGRIEG.
4. Лapidус А.А., Эмба С.И., Билонда Е. Трегубова, Кормухин С.А. Методика оценки потребности проведения капитального ремонта для каждого типа многоквартирного дома, Инженерный вестник Дона. 2023. № 5(101). С. 298-312. EDN KNVDAU.
5. Лapidус А.А., Тельпиз И.Ф. Факторы, влияющие на параметры капитального ремонта // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 4. С. 189-192. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-4-189-192. EDN NVDYIW.
6. Хубаев А.О., Долов Б.Р. Анализ и сбор данных для проведения капитального ремонта в России // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 7. С. 625-628. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-7-625-626.
7. Кагазезев А.Ю., Фатуллаев Р.С., Хубаев А.О., Шестерикова Я.В. Анализ основных проблем планирования программ капитального ремонта. Перспективы науки. 2022. № 12(159). С. 81-86.
8. Фатуллаев Р.С., Бидов Т.Х., Абдрашитова Д.Э., Сабанов Г.А. Формирование индексов перехода от базового уровня цен к уровням цен в отдельных субъектах РФ в рамках разработки сборника укрупненных базовых стоимостей работ по капитальному ремонту МКД // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 3. С. 389-393. DOI 10.24412/2071-6168-2023-3-389-393.
9. Лapidус А.А., Фатуллаев Р.С., Ткаченко А.А., Сабанов Г.А. Осуществление функций технического заказчика при капитальном ремонте жилых зданий // Components of Scientific and Technological Progress. 2023. 4(82). С. 50-55.
10. Лapidус А.А., Фатуллаев Р.С., Бидов Т.Х., Николенко Д.М. Анализ стоимости выполненных работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирных жилых домах в субъектах Российской Федерации, Строительное производство. 2023. № 2. С. 3-7. DOI 10.54950/26585340202323.
11. Фатуллаев Р.С., Хаев Т.Э. Использование современных строительных материалов как фактор, влияющий на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта // Перспективы науки. 2019. № 5(116). С. 224-228.

Кагазезев Андар Юрьевич, преподаватель, младший научный сотрудник, andarkag@ya.ru, Россия, Москва, Московский государственный строительный университет,

Фатуллаев Рустам Сейфуллаевич, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, FatullaevRS@mgsu.ru, Россия, Москва, Московский государственный строительный университет

ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES TO DETERMINING THE TIME BETWEEN REPAIRS OF MCDS IN THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.Yu. Kagazezhev, R.S. Fatullaev

This article is devoted to the analysis of existing approaches to determining the overhaul period in apartment buildings (MCD) in the regions of Russia. The study was carried out through on-site surveys in various regions (Kaliningrad, Stavropol, Moscow Region, Tula, Tyumen, Nizhny Novgorod), as well as obtaining information from 22 other regions. The authors collected technical documentation, analyzed existing methods, including comparison with all-Russian standards (VSN 53-86(r) and VSN 58-88(r)), and identified the main factors affecting overhaul time in each region. Research materials and methods include on-site surveys, analysis of technical documentation, data systematization and statistical analysis. In the course of the study, a variety of approaches to determining the overhaul period in the regions was found, as well as signifi-

cant differences in the application of BCH 53-86(p) and BCH 58-88(p) standards. The data obtained emphasize the need to develop a new, adaptive methodology that takes into account regional characteristics and modern technologies. The conclusions of the article highlight the main results of the analysis and formulate prospects for further research in this area.

Key words: multi-apartment residential buildings, overhaul time between repairs.

Kagazezhev Andar Yur'yevich, lecturer, junior researcher, andarkag@ya.ru, Russia, Moscow, Moscow State University of Civil Engineering,

Fatullaev Rustam Seifullaevich, candidate of technical sciences, docent, senior researcher, FatullaevRS@mgsu.ru, Russia, Moscow, Moscow State University of Civil Engineering

УДК 004.651; +504.054:504.75. 930.253+004
DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-99-100

ОПЫТ СОЗДАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ РЕПОЗИТОРИЯ АРХИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ПРЕОДОЛЕНИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В 1986–1991 ГГ

О.Н. Апанасюк, А.М. Скоробогатов, Т.А. Буланцева

Представлены результаты исследования хранящихся в фондах государственного архива Тульской области документов органов исполнительной власти и органов КПСС по проблемам преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), а также материалов о деятельности Тульской организации Союза «Чернобыль» и других общественных фондов в 1986–1991 гг. Задачей настоящей работы является анализ конкретных мер, принятых с целью формирования и развития системы радиационной безопасности в Тульской области. Создан репозиторий файлов документов органов исполнительной власти и органов КПСС по указанной проблеме в Тульской области. На основании электронных копий отобранных документов сформирована база данных, содержащая основные сведения и наиболее значимые материалы, связанные с реабилитацией территорий Тульской области, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС, включая защитные и оздоровительные мероприятия для населения. Поиск и выборка документов для подготовки электронных версий осуществлялись по критериям связи документа с мероприятиями по преодолению последствий аварии на ЧАЭС и (или) с оценкой сложившейся в Тульской области социально-экономической ситуации и эффективности принимаемых управленческих решений.

Ключевые слова: база данных, репозиторий, государственный архив, радиоактивное загрязнение, радиационная безопасность, реабилитация территорий, Чернобыльская АЭС

Введение и постановка проблемы. В результате аварии, произошедшая 26 апреля 1986 г. на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в Российской Федерации в наибольшей степени подверглись радиационному воздействию территории Брянской, Тульской, Орловской и Калужской областей.

В Тульской области наибольшему радиоактивному загрязнению ^{137}Cs подверглись территории следующих районов: Арсеньевский, Белёвский, Киреевский, Одоевский, Плавский, Тепло-Огарёвский, Чернский, Щёкинский и Узловский [1]. Доля населения, проживающего на загрязненных территориях в Тульской области, составляет 50 % [2].

На рисунке представлена карта загрязнения ^{137}Cs территории Тульской области в 1986 году.

По данным наземной радиометрической сети уровни радиации с 30 апреля по 1 мая 1986 г. в г. Плавск Тульской области составляли 1,5–2,7 мР/ч. На 01.01.1991 г. общая площадь загрязненная свыше 1 Ки/км² составила: с/х угодий – 470,9 тыс. га (38 %); пашни – 395,52 тыс. га (38,5 %).

25 июля 1986 г. бюро Тульского обкома КПСС и облисполком приняли совместное постановление о мерах по ликвидации последствий радиоактивного загрязнения (далее – РЗ) территории области, защите населения, продовольствия и фуража («Об утверждении списка работ, относящихся к работам по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, проведенным в период с 26 апреля 1986 г. по 31 декабря 1990 г. в зоне отчуждения Российской Федерации: пост. Верховного Совета Российской Федерации от 13 августа 1993 г. № 5625-1»). В соответствии с ним были обследованы 420 тыс. га земель в 95 хозяйствах и составлены карты загрязненности сельскохозяйственных угодий, которые передали в каждое хозяйство.

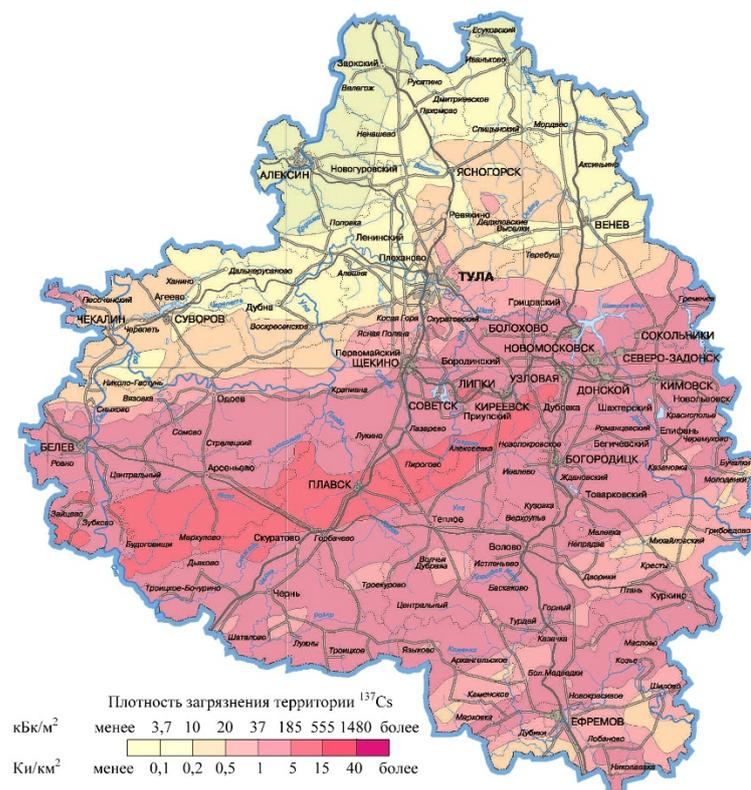
В результате своевременно принятых агрономелиоративных и других защитных мер в Тульской области с 1987 г. получают сельскохозяйственную продукцию, не превышающую по содержанию радиоактивных веществ временно допустимые уровни.

В 1986–1989 гг. в Тульской области выполнено известкование на площади 38,9 тыс. га. Кроме того, ведется масштабное фосфоритование почв.

В зонах жесткого контроля произведено репрофилирование хозяйственной деятельности предприятий лесного хозяйства. В предприятиях Минлесхоза РСФСР, расположенных в зонах РЗ, созданы службы радиометрического контроля. В Тульском объединении организованы радиологические лаборатории.

21 февраля 1990 г. Тульский облисполком принял решение о дополнительных мерах по усилению охраны здоровья населения районов области, попавших в зону РЗ. Была разработана комплексная программа по улучшению медицинского обслуживания и оздоровления жителей 16 районов Тульской области, подвергшихся РЗ.

Реализуются специальные проекты ведения лесного хозяйства и социально-экономического развития предприятий Тульских объединений, находящихся в зонах жесткого контроля.



Карта загрязнения ^{137}Cs территории Тульской области в 1986 г.
 Источник: составлено авторами по данным [3]

Проведение в населенных пунктах зон РЗ профилактических и защитных мероприятий, включая регулярное обследование состояния здоровья населения и контроль радиационной обстановки, дезактивацию населенных пунктов, вывоз детей и беременных женщин на отдых в летний период в 1986–1987 гг., запрет потребления загрязненных пищевых продуктов позволили значительно снизить дозовые нагрузки на население [4].

В соответствии с Законом РФ от 15.05.1991 № 1244–1 (ред. от 24.04.2020) «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС», с 1991 г. установлено 4 типа зон РЗ: зона отчуждения (ЗОТЧ); зона отселения (ЗОТС); зона проживания с правом на отселение (ЗПО); зона проживания с льготным социально-экономическим статусом (ЗЛС). Зонирование предусматривает ограничения хозяйственной деятельности на территориях РЗ с одновременной социальной поддержкой граждан, проживающих на таких территориях (Постановление Совета Министров РСФСР от 06 августа 1990 г. № 280 «О льготах лиц, работающих в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС» // ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 1. Д. 1151; Постановление Верховного Совета РСФСР от 19 сентября 1990 г. № 173-1 «О государственной программе по ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы на территории РСФСР на 1990–1995 годы» // ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 1. Д. 1152.). В ЗПО и ЗЛС допускается производство с/х продукции с обязательным ведением радиационного мониторинга и рекомендацией применения специальных препаратов, сдерживающих поступление радиоактивных веществ в продукцию.

На территории Тульской области установлено два типа зон РЗ: ЗПО (5–15 Ки/км²) и ЗЛС (1–5 Ки/км²). В 1991 г. в ЗПО находились 310 населенных пунктов (139,4 тыс. человек), в ЗЛС – 1 737 населенных пунктов (797,5 тыс. человек) [5]. В настоящее время (по состоянию на 01.01.2020) на территориях Тульской области, загрязненных ^{137}Cs , имеются 15 населенных пунктов, расположенных в ЗПО, и 780 – в ЗЛС [6].

Исключительно важным является уточнение принципов зонирования, направленное на оптимизацию защитных мер с концентрацией финансовых и материальных ресурсов для экономического стимулирования возрождения и развития территорий, в наибольшей степени подвергшихся аварийному радиационному воздействию [7].

Существуют особенности правового режима зон экологического бедствия и зон чрезвычайной ситуации [8], разработаны критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия [9]. Основные последствия режима зон чрезвычайных ситуаций для муниципальных образований проявляются в негативных демографических тенденциях и ухудшении общего экономического состояния [10].

Несмотря на успехи в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС специалисты продолжают обсуждать степень адекватности и своевременности реагирования властей различного уровня на возникающие угрозы. Поэтому для оценки эффективности управленческих решений возникает необходимость создания документационной тематической межотраслевой базы данных (БД) репозитория архивных документов.

Обзор ранее выполненных исследований. Вопросам представления архивной информации и созданию БД исторических архивных документов уделяется должное внимание в научных исследованиях [11–18].

Документы центральных и региональных органов управления архивным делом стали важнейшей составной частью Архивного фонда страны, и источниковедческое освоение этих документов «отечественные историки-архивисты всегда считали и считают своим профессиональным долгом и своим научным призванием» [11].

Заслуживает внимание разработка унифицированных форм описания архивной информации (фонд, дело, документ), содержащейся в БД, входящих в состав информационно-поисковых систем (ИПС) [12]. Созданные на основе архивных документов БД и ИПС являются основными рабочими инструментами исследователей исторических сведений [13, 14].

Подход к представлению архивной информации исторических документов о ликвидации последствий аварии на ЧАЭС на Интернет-портале показал актуальность совместных усилий руководства и специалистов различных служб в области радиационной защиты населения и территорий [15].

Изучение документов из общедоступных электронных ресурсов показывает, что многие источники, касающиеся социальной защиты граждан, подвергшихся воздействию радиации, публикуются в извлечениях так как для некоторых документов всё ещё сохраняется государственная тайна, что затрудняет их использование [16].

Актуальным является создание БД репозитория архивных документов по проблемам преодоления последствий радиационных аварий (на химкомбинате «Маяк» в 1957 г. [17] и на ЧАЭС в 1986 г. [18]), также для оценки долговременной безопасности пунктов хранения радиоактивных отходов [19].

Материалы и методы исследования. Социальная и радиационная реабилитация населения и РЗ территорий Тульской области сохраняет свою актуальность до настоящего времени.

Для принятия эффективных управленческих решений по изменению системы хозяйствования на территориях РЗ необходимо проводить критический анализ организационно-распорядительных документов, принятых в условиях ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС, в том числе принятых более 37 лет назад.

В рамках представленной работы исследованы организационно-распорядительные документы органов исполнительной власти по вопросам организации и проведения работ для преодоления последствий аварии на ЧАЭС в 1986–1991 гг., хранящиеся в государственном архиве Тульской области.

Результаты исследования. В 2012 г. в рамках реализации федеральной целевой программы «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года» было проведено исследование документов, связанных с преодолением последствий аварии на ЧАЭС и реабилитацией радиоактивно загрязненных территорий (РЗТ) Тульской области в 1986–1990 гг., хранящихся в фондах Государственного учреждения «Государственный архив Тульской области» (ГУ ГАТО).

В результате изучения фондов ГУ ГАТО (документов органов исполнительной власти и органов КПСС по проблемам преодоления последствий аварии на ЧАЭС, а также материалов о деятельности Тульской организации Союза «Чернобыль» и других общественных фондов в 1986–1991 гг. по Тульской области) собраны материалы, связанные с реабилитацией РЗТ, включая оздоровительные мероприятия, проводимые в населенных пунктах Тульской области, выполнено их сканирование (в PDF-формате) и создана БД Репозитория документов фондов ГУ ГАТО, представленная в таблице.

Репозиторий документов фондов ГУ ГАТО

№ фонда	№ описи	№ дела	Кол-во документов	Кол-во листов, всего	Годы документов
П-177	101	885	11	11	1986, 1988, 1991
П-177	101	1211	1	10	1986
П-177	102	553	4	16	1986, 1988, 1991
П-177	104	150	5	14	1990
П-177	104	168	10	24	1989, 1990
П-177	104	449	8	23	1989, 1990
П-177	104	474	14	22	1990
Р-2640	104	1782	8	46	1990
Р-2640	104	1794	3	7	1990
Р-2640	104	1796	3	4	1990
Р-2640	104	1800	1	1	1990
Всего:			68	178	

Перечень документов фондов ГУ ГАТО, входящих в базу данных. Документы фонда П-177 «Тульский обком КПСС» (1986–1991 гг.):

«Об обращении правления Тульского областного отделения детского фонда им. В.И. Ленина на использование средств «Чернобыльского фонда», отпущенных ЦК КПСС на оздоровление детей района» (1988 г.); «Об утверждении фонда возрождения Тульского села» (1991 г.); «Справка о расходовании средств СФМ в 1986 г.» (1986 г.) (ГУ ГАТО. Ф. П-177. Оп. 101. Д. 885. 11 л. б/н.);

«Об охране окружающей среды (материал в помощь докладчику)» (1986 г.) (Там же. Д. 1211. 10 л. б/н.);

«О выполнении программы "Здоровье" г. Климовска и Климовского района на 1986-1990 гг.»; «О результатах проверки выполнения программы "Здоровье" по разделам охраны окружающей среды и расширения сети общественного питания в Климовском районе» (1988 г.) (Там же. Оп. 102. Д. 553. 1 л. б/н., Л. 5–9, 10 л. б/н.);

«О реализации программы "Дети Чернобыля"; «"Круглый стол" "Эхо Чернобыля – 1986–1990 гг."»; «О поддержки народными депутатами обращения жителей г. Плавска, проживающих в зоне радиоактивного загрязнения почвы свыше 5 Ки./км², о выплате компенсаций и льготах» (1990 г.) (Там же. Оп. 104. Д. 150. Л. 1–10, 4 л. б/н.);

справка «О рассмотрении коллективного письма сотрудников Плавского авторемонтного завода, в котором выражается опасение повышенным фоном радиации»; о выделении Облпотребсоюзу дополнительно мыла и СМС; решение от 14.08.89 № 9–384 «О мерах по улучшению организации обслуживания детей, страдающих тяжелыми формами зудящего аллергодерматоза, сахарного диабета»; о санитарной обработке дорог и вывоза бытового мусора на территории г. Плавска; обращение жителей г. Плавска по поводу повышенной дозы радиации, озабоченностью здоровьем своих детей и принятием необходимых мер; о мерах к укомплектованию медицинскими кадрами районного здравоохранения Плавского района; об обеспечении жителей Плавского района продуктами питания, особенно – детей; «О дополнительном обеспечении медикаментами, врачебными кадрами, мылом и СМС, специальной техникой для уборки города Плавского района»; обращение жителей Плавского района по поводу повышенной дозы радиации в районе и принятии ряда мер по предотвращению заболеваемости жителей; обращение жителей

г. Плавска (Тулльской области) в Комиссию при Верховном Совете СССР по Чрезвычайным ситуациям о назначении объективной комиссии для определения радиационной обстановки и состояния здоровья населения города и района; письмо-ответ Тулоблздравотдела (о рассмотрении письма жителей г. Плавска) – отчет о принятых в 1986–1989 гг. мерах по предупреждению последствий аварии на ЧАЭС в Плавском, Белёвском, Арсеньевском, Тёпло-Огарёвском, Чернском и Щёкинском районах; о разработке комплексной программы по улучшению медицинского обслуживания и оздоровлению населения, проживающего в районах Тульской области, подвергшихся загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, на 1889–1995 годы (1989 г., 1990 г.) (Там же. Д. 168. 34 л. б/н.);

о создании 02.11.1990 Тульской организации Союза «Чернобыль», в которой насчитывается 1 836 участников ликвидации аварии на ЧАЭС; о проведении 26 апреля 1990 г. благотворительной 24-х часовой телепрограммы «Телемарафон Чернобыля»; о создании Детского Фонда Союза «Чернобыль» 24 февраля 1990 г.; Устав и Программа I съезда Всесоюзного добровольного общества СССР Союз «Чернобыль» (1990 г.) (Там же. Д. 449. 23 л. б/н.);

о направлении средств Ленинского коммунистического субботника (22 апреля 1989 г.) в фонд пострадавших от последствий аварии на ЧАЭС; сведения Тульского облвоенкома о том, что на ликвидацию последствий аварии на ЧАЭС в Киевскую и Брянскую области в 1986–1989 гг. было призвано и отправлено 1 422 военнообязанных (из них 148 офицеров запаса); Справка о перечне правительственных постановлений и распоряжений, определяющих вопросы быта, оплаты труда и установленных льгот лицам, находившимся на работе по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции (1986–1988 гг.); «О дополнительных мерах и организации работы по завершению составления Всесоюзного распределённого регистра на лиц, подвергшихся воздействию радиации в связи с аварией на Чернобыльской АЭС» (определены мероприятия по организации диспансерного наблюдения за лицами, подвергшимися воздействию радиации. Создано 5 групп Всесоюзного распределённого регистра: I-я группа – лица, принимавшие участие в работе по ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС ("ликвидаторы"); II-я группа – лица, подлежащие эвакуации из 30-км.зоны (эвакуанты) Чернобыльской АЭС; III-я группа – лица, проживающие на контролируемых территориях в Тульской области – это часть детей Плавского, Арсеньевского, Белёвского, Тёпло-Огарёвского, Чернского районов; IV-я группа – дети, родившиеся от лиц I-III группы. Начиная с 1986 года, к ликвидации последствий аварии стали привлекаться и жители нашей области, в основном, шахтеры); об учреждении территориальных организаций Союза «Чернобыль» в Тульской области; о первом съезде Всесоюзной организации Союз «Чернобыль» в г. Киеве 14 февраля 1990 г. (1990 г.) (Там же. Д. 474. 22 л. б/н.).

Документы фонда Р-2640 «Исполком Тульского областного совета народных депутатов» (1990 г.):

решение от 21.02.90 № 2–92 «О дополнительных мерах по усилению охраны здоровья населения районов области, попавших в зону радиоактивного заражения в результате аварии на Чернобыльской АЭС»; задание ПРСО «Тулавтордор», ТПО ЖКХ по благоустройству территорий, строительству автодорог и обеспечения уборочной техникой г. Плавска на 1990–1991 гг.; об утверждении «Комплексной программы по улучшению медицинского обслуживания и оздоровления населения, проживающего в районах Тульской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, на 1990–1995 гг.» (ГУ ГАТО. Ф. Р-2640. Оп. 104. Д. 1782. 46 л. б/н.);

решение от 12.06.90 № 8–302 «О мерах по улучшению медицинского обслуживания и социального обеспечения лиц, принимавших участие в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС» (Там же. Д. 1794. 7 л. б/н.);

решение от 16.07.90 № 9–351 «Об упорядочении продажи товаров инвалидам и участникам Великой Отечественной войны, инвалидам I и II групп по зрению, лицам, работавшим по ликвидации последствий аварии непосредственно на Чернобыльской ЧАЭС» (Там же. Д. 1796. Л. 347, 348, 2 л. б/н.);

решение от 27.08.90 № 11–428 «Об изменении редакции п. 7 решения облисполкома от 12.06.90 № 8-302 «О мерах по улучшению медицинского обслуживания и социального обеспечения лиц, принимавших участие в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС»»: а) первоочередное обеспечение жилой площадью нуждающихся в улучшении жилищных условий в течение года со дня подачи заявления лиц, заболевших лучевой болезнью в результате аварии на Чернобыльской АЭС и при выполнении работ по ликвидации ее последствий, а также лиц, в отношении которых установлена причинная связь наступившей инвалидности с этой аварией и с выполнением работ по ликвидации ее последствий (в том числе семей погибших или умерших граждан); б) первоочередное обеспечение жилой площадью нуждающихся в улучшении жилищных условий лиц, принимавших в 1986–1987 гг. участие в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в пределах 30-километровой зоны (зоны отселения) этой станции, а также занятых в том же периоде на эксплуатационных и других работах на этой электростанции» (Там же. Д. 1800, Л. 197.).

Наибольший интерес представляют документы:

об использовании средств «Чернобыльского фонда», отпущенных ЦК КПСС на оздоровление детей района; об утверждении фонда возрождения Тульского села;

о Тульской организации Союза «Чернобыль»; о создании Детского Фонда Союза «Чернобыль»; о реализации программы «Дети Чернобыля»;

о мерах по улучшению организации обслуживания детей, страдающих тяжелыми формами зудящего алергодерматоза, сахарного диабета;

о выполнении программы "Здоровье" г. Климовска и Климовского района на 1986–1990 гг.;

о мерах к укомплектованию медицинскими кадрами районного здравоохранения Плавского района;

о разработке комплексной программы по улучшению медобслуживания и оздоровления населения, проживающего в районах Тульской области, подвергшихся загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в 1990–1995 гг.;

о принятых в 1986–1989 гг. мерах по предупреждению последствий аварии на ЧАЭС в Плавском, Белёвском, Арсеньевском, Тёпло-Огарёвском, Чернском и Щёкинском районах;

о дополнительных мерах и организации работы по завершению составления Всесоюзного распределённого регистра на лиц, подвергшихся воздействию радиации в связи с аварией на ЧАЭС;

о дополнительных мерах по усилению охраны здоровья населения районов области, попавших в зону радиоактивного заражения в результате аварии на ЧАЭС;

о мерах по улучшению медицинского обслуживания и социального обеспечения лиц, принимавших участие в работах по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС;

о работах по благоустройству территорий, строительству автодорог и обеспечения уборочной техникой г. Плавска на 1990–1991 гг.

об упорядочении продажи товаров инвалидам и участникам Великой Отечественной войны, инвалидам I и II групп по зрению, лицам, работавшим по ликвидации последствий аварии непосредственно на ЧАЭС.

Структура базы данных. Первоначально отобранные документы (в PDF-формате) – файлы БД Репозитория были сгруппированы по каталогам (папкам) фондов в следующей иерархии: фонд/опись/дело.

Наименования файлов БД Репозитория дано символьной строкой следующего вида:

{FFFFFF}_{OO}_{DDDD}_{LLL[+LLL-LLL+LLL]}_{GGGG[-GGGG]}.pdf,

где

{FFFFFF} – номер фонда в Государственном архиве;

{OO} – номер описи в фонде;

{DDDD} – номер дела в описи фонда;

{LLL[+LLL-LLL+LLL+LLLbn]} – номер листа в деле, номера листов через дефис или через символ «+», номер обратной стороны листа с приставкой символа «об» и/или количество листов без номеров с приставкой символа «bn» через символ «+»;

{GGGG[-GGGG]} – год/годы создания документа(ов).

Примеры наименований файлов БД Репозитория:

Ф. П-177. Оп. 101. Д. 885. 11 л. б/н. (1986, 1988, 1991) – имя файла: П-177_101_885_11bn_1986-1988-1991.pdf;

Ф. Р-2640. Оп. 104. Д. 1796. Л. 347, 348, 2 л. б/н. – имя файла: Р-2640_104_1796_347-348+2bn_1990.

На их основе была создана БД, включающая в себя отдельным массивом таблицы и репозиторий файлов

[18].

База данных Репозитория архивных документов содержит следующие поля:

- имя файла *. PDF;
- количество документов, входящих в состав дела (единиц хранения);
- наименование документа;
- номер документа;
- год документа;
- дата документа;
- краткое описание содержимого документа;
- ключевые слова;
- № фонда;
- № описи;
- № дела.

Разработанная электронная БД документов из государственного архива Тульской области входит в состав межведомственной информационной системы по вопросам обеспечения радиационной безопасности населения и проблемам преодоления последствий радиационных аварий [20]. База данных была использована при анализе эффективности управленческих решений на различных этапах исполнения, в том числе для оценки уровня влияния на социально-экономическую обстановку установления режима зон РЗ, нарушающего сложившийся хозяйственный уклад.

Выводы. Проведены поиск, анализ, отбор и сканирование наиболее важных документов, связанных с ликвидацией последствий аварии на ЧАЭС в Тульской области в 1986–1991 гг. Использовалась информация из фондов Государственного архива Тульской области: П-177 «Тульский обком КПСС» и Р-2640 «Исполнительный комитет Тульского областного Совета народных депутатов».

На основании подготовленных электронных копий организационно-распорядительных документов, посвященных преодолению последствий аварии на ЧАЭС в 1986–1991 гг., создана БД (включающая копии в PDF-формате 68 документов на 178 листах), содержащая основные сведения и наиболее значимые материалы, связанные с реабилитацией территорий Тульской области, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС, включая защитные и оздоровительные мероприятия для населения.

Список литературы

1. Чернобыль. Пять трудных лет. Сборник материалов о работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986–1990 гг. // Москва: ИздАТ, 1992. 384 с.
2. Проблемы смягчения последствий Чернобыльской катастрофы / Материалы международного семинара. Ч. 1: под ред.: Р.М. Алексахина, В.Ф. Кириллова, П.В. Раизаева и А.Ф. Цыба // Россия, Брянск, 1993. 158 с. EDN: VPPBXO.
3. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. Москва–Минск: Фонд «Инфосфера»–НИА–Природа, 2009. 140 с.
4. Ильин Л.А., Павловский О.А. Радиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и меры, предпринятые с целью их смягчения // Атомная энергия. 1988. Т. 65. Вып. 2. С. 119–129.
5. Скоробогатов А.М., Герменчук М.Г., Симонов А.В., Жукова О.М., Апанасюк О.Н., Голиков Ю.Н., Буланцева Т.А., Лупач Л.Ю. Об установлении границ зон радиоактивного загрязнения в результате крупных радиационных аварий. Сообщение I. Ретроспективный анализ опыта зонирования при аварии на ЧАЭС // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2017. Т. 62. № 5. С. 11–20. DOI: 10.12737/article_59f2f1e5d45cc5.39553012. EDN: ZTSXMH.

6. Российский национальный доклад: 35 лет чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986-2021 / Финогенов А.А., Ткачев В.А., Локшин А.М. [и др.]; под общ. ред. Л.А. Большова. М.: Академ-Принт, 2021. 104 с. ISBN 978-5-907375-02-4.
7. Апанасюк О.Н., Буланцева Т.А., Морозова Т.Е., Симонов А.В., Скоробогатов А.М. О современных проблемах определения статуса населённых пунктов, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС // Радиация и риск. 2013. Т. 22. № 1. С. 36–46. EDN: PZGXYL.
8. Кожокарь И.П. Особенности правового режима зон экологического бедствия и зон чрезвычайной ситуации // Государство и право. 2021. № 9. С. 99–106. DOI: 10.31857/S102694520016731-5.
9. Ермаков В.В. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия / Министерство экологии и природных ресурсов Российской Федерации, Москва, 1992. 50 с. EDN: VYEPZP.
10. Скоробогатов А.М., Апанасюк О.Н., Буланцева Т.А. Влияние режима зон радиоактивного загрязнения на состоянии муниципальных образований (на примере Брянской области) // Региональные исследования. 2021. № 4(74). С. 89–103. DOI: 10.5922/1994-5280-2021-4-7. EDN CKBSLY.
11. Безбородов А.Б., Хорхордина Т.И. Архивы и власть: государственная архивная служба в формировании исторического сознания и Российской социокультурной идентичности // Новый исторический вестник. 2018. № 3. С. 59–77. DOI: 10.24411/2072-9286-2018-00023. EDN: YVRCXJ.
12. Котлова Т.Н. Электронные описи ГАРФ: Опыт создания, новые возможности использования и совершенствования // Вестник архивиста. 2006. № 1. С. 133–144. EDN: KVPOXB.
13. Леонов М.В. Опыт автоматизации поиска персональных данных студентов Московского университета за 1813–1917 гг. по документам ЦГА Москвы // Отечественные архивы. 2020. № 4. С. 37–44. EDN: RLQVWB.
14. Ларин М.В. Цифровая трансформация управления документами // «Генеральный регламент»: 300 лет на службе России: от коллежского делопроизводства до цифровой трансформации управления документами: материалы Международной научно-практической конференции (г. Москва, 14–16 октября 2020 г.). М.: Российский государственный гуманитарный университет, 2021. С. 10–19. EDN: NACUXS.
15. Куприянова И.А., Каткова М.Н. Представление архивной информации о ликвидации последствий радиационных аварий на интернет-портале // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 2. С. 18–24. DOI: 10.12737/article_5ac61ad45ede28.13528430. EDN: YWFBMR.
16. Камынин В.Д. Документы электронного архива как источник для изучения политики России по отношению к населению, пострадавшему от радиационных аварий (на примере деятельности ПО «Маяк» // Документ. Архив. История. Современность: Материалы VI Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 02–03 декабря 2016 года. Екатеринбург: УрФУ, 2016. С. 355–358. EDN: XRDKVF.
17. Апанасюк О.Н., Скоробогатов А.М., Буланцева Т.А. Создание базы данных репозитория архивных документов по проблемам преодоления последствий радиационной аварии на химкомбинате «Маяк» в 1957 г. // История и архивы. 2023. № 1. С. 147–167. DOI: 10.28995/2658-6541-2023-5-1-147-167. EDN: VFDWXS.
18. Апанасюк О.Н., Скоробогатов А.М., Буланцева Т.А. Создание репозитория и базы данных документов по преодолению последствий аварии на Чернобыльской АЭС в Брянской области в 1986–1993 гг. // XXI век. Техносферная безопасность. 2023. Т. 8. № 1. С. 27–47. DOI: 10.21285/2500-1582-2023-1-27-47. EDN: QLPKYT.
19. Скоробогатов А.М., Панченко С.В., Апанасюк О.Н., Буланцева Т.А. Структура базы данных для оценки долговременной безопасности пунктов хранения радиоактивных отходов // Информационные технологии и вычислительные системы. 2022. № 2. С. 46–58. DOI: 10.14357/20718632220206. EDN: DACLAN.
20. Скоробогатов А.М., Апанасюк О.Н., Буланцева Т.А. Опыт создания межведомственной информационной системы по вопросам преодоления последствий радиационных аварий // Наука. Исследования. Практика. Технические и естественные науки. Социально-экономические и гуманитарные науки. Психология. Спорт. Здравоохранение. Образование. Культура. Общество. Безопасность. Информация. Техника. Управление (г. Санкт-Петербург, 26–31 августа 2021 года). СПб: ГНИИ «Нацразвитие», 2021. С. 319–324. DOI: 10.37539/AUG298.2021.14.75.037. EDN: DYLKTC.

Апанасюк Олег Николаевич, заведующий лабораторией, aon@ibrae.ac.ru, Россия, Москва, Институт проблем безопасного развития атомной энергии Российской академии наук,

Скоробогатов Анатолий Михайлович, научный сотрудник, sam@ibrae.ac.ru, Россия, Москва, Институт проблем безопасного развития атомной энергии Российской академии наук,

Буланцева Татьяна Анатольевна, инженер, tabu@ibrae.ac.ru, Россия, Москва, Институт проблем безопасного развития атомной энергии Российской академии наук

EXPERIENCE IN CREATING A DATABASE OF ARCHIVAL DOCUMENTS REPOSITORY ON THE PROBLEMS OF OVERCOMING THE CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL NPP ACCIDENT IN THE TULA REGION 1986–1991

O.N. Apanasyuk, A.M. Skorobogatov, T.A. Bulantseva

Presents the results of the study of the documents of the executive authorities and bodies of the Communist Party of the Soviet Union (CPSU) on the problems of overcoming the consequences of the accident at the Chernobyl NPP stored in the funds of the State Archives of the Tula Region, as well as materials on the activities of the Tula organization of the Chernobyl Union and other public funds in 1986–1991. A repository of files of documents of executive authorities and CPSU bodies on this problem has been created in the Tula region. On the basis of electronic copies of the selected documents, a database was formed containing basic information and the most significant materials related to the rehabilitation of the territories of the Tula region contaminated as a result of the Chernobyl accident, including protective and health measures for the population. The search and selection of documents for the preparation of electronic versions were carried out according to

the criteria of connection of the document with the measures to overcome the consequences of the Chernobyl accident and (or) with the assessment of the current socio-economic situation in the Tula region and the effectiveness of the management decisions made.

Key words: database, repository, state archive, radioactive contamination, radiation safety, rehabilitation of territories, Chernobyl NPP.

Apanasyuk Oleg Nikolaevich, head of the laboratory, aoon@ibrae.ac.ru, Russia, Moscow, Nuclear Safety Institute of RAS,

Skorobogatov Anatoly Mikhailovich, scientific research, sam@ibrae.ac.ru, Russia, Moscow, Nuclear Safety Institute of RAS,

Bulantseva Tatiana Anatolyevna, engineer, tabu@ibrae.ac.ru, Russia, Moscow, Nuclear Safety Institute of RAS

УДК 330.4

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-105-106

ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ФУНКЦИИ ЛЕОНТЬЕВА С НЕЛИНЕЙНЫМИ ПРЕДИКТОРАМИ

С.И. Носков, Е.С. Попов

В работе предложен способ построения производственной функции Леонтьева с нелинейными преобразованиями независимых переменных. Он основан на разработанном ранее одним из авторов алгоритме формирования аддитивной по параметрам регрессии, превосходящей по своим аппроксимационным характеристикам соответствующую ей линейную модель. Этот способ сводится при использовании метода наименьших модулей для определения неизвестных параметров к задаче линейно-булевого программирования. Решен простой численный пример, демонстрирующий, что полученная нелинейная функция Леонтьева обеспечивает существенное уменьшение суммы модулей ошибок по сравнению со своим линейным аналогом.

Ключевые слова: функция Леонтьева, преобразования переменных, аддитивная по параметрам регрессия, задача линейно-булевого программирования, метод наименьших модулей.

Многие процессы, отражающие функционирование систем социально-экономического характера и смежных с ними, формализуются с помощью производственной функции Леонтьева (или функции леонтьевского типа). Так, в работе [1] на ее основе описывается динамика затрат больницы с множеством выходов и входов с использованием панельного набора данных по больницам штата Вашингтон в США за 1988–1993 годы. В [2] предложен новый методический подход к проектному анализу направлений и сроков окупаемости инвестиций, основанный на оптимальной фондовооруженности с использованием наиболее популярных в экономических исследованиях производственных функций (Кобба-Дугласа, CES-функции, линейной функции, функций Леонтьева и Аллена) в их классической и динамической модификациях. Статья [3] посвящена анализу взаимосвязи между функциями CES, Кобба-Дугласа и Леонтьева с использованием значения эластичности замещения в модели дискретных объектов. В исследовании [4] используется обобщенная функциональная форма Леонтьева для оценки реакции поставок пилотматериалов и щепы в Канаде. Вызывает интерес публикация [5], в которой производственная функция с постоянной эластичностью замещения ресурсов динамически выводится из производственной функции Леонтьева посредством эндогенных взаимодополняющих отношений между накоплением капитала и механизацией. В [6] исследуется влияние наложения различных предположений о разделимости в спецификациях стандартной иерархической производственной функции в вычислимой модели общего равновесия. В статье [7] классические производственные функции применяются при расчете общей факторной производительности в Южной Африке за период 1970–2006 гг. В [8] производится оценка трансцендентно-логарифмической производственной функции обрабатывающей промышленности в иорданской экономике. В статье [9] производится расширение стандартной динамической модели Леонтьева путем включения в нее уравнения баланса невозобновляемых ресурсов. В работе [10] формируются простая и двойственная непрерывная модели производства Леонтьева с квадратичной целевой функцией.

Выбор лучшего преобразования для каждой независимой переменной в производственной функции Леонтьева. Рассмотрим обычную производственную функцию Леонтьева, называемую также функцией с нулевой эластичностью замещения ресурсов, функцией с постоянными пропорциями, или, в математическом смысле, кусочно-линейной регрессией (моделью) (см., например, [11–14]):

$$y_k = \min(\alpha_1 x_{k1}, \alpha_2 x_{k2}, \dots, \alpha_m x_{km}) + \varepsilon_k, \quad \overline{1, n}, \quad (1)$$

где y – зависимая переменная (обычно объем выпуска продукции), x_i – i -ая независимая, или объясняющая переменная (обычно объем i -ого ресурса), α_i – i -ый подлежащий оцениванию параметр; ε_k – ошибки аппроксимации, k – номер наблюдения, n – число наблюдений (длина выборки). Будем считать модель (1) детерминированной. Кроме того, без потери общности и в соответствии со смыслом переменных будем полагать, что $y_k \geq 0$, $x_{ki} \geq 0$, $k = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, m}$.

Весьма часто (см., например, [15,16]) параметры α_i , $i = \overline{1, m}$ оцениваются с помощью метода наименьших модулей (МНМ), состоящего в данном случае в решении следующей оптимизационной задачи – минимизации так называемой функции затрат:

$$J(\alpha) = \sum_{k=1}^n |\varepsilon_k| \rightarrow \min. \quad (2)$$

В работе [17] показано, что задача (2) сводится к следующей задаче линейно-булевого программирования (ЛБП):

$$d_k + u_k - v_k = y_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (3)$$

$$d_k \leq \alpha_i x_{ki}, \quad k = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

$$\alpha_i x_{ki} - d_k \leq (1 - \sigma_{ki})M, \quad k = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m \sigma_{ki} = 1, \quad k = \overline{1, n}, \quad (6)$$

$$\sigma_{ki} \in \{0, 1\}, \quad k = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

$$u_k \geq 0, \quad v_k \geq 0, \quad k = \overline{1, n}, \quad (8)$$

$$\alpha_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^n (u_k + v_k) + l \sum_{i=1}^m \alpha_i \rightarrow \min. \quad (10)$$

Здесь M - заранее выбранное большое положительное число, l - наперед заданная малая положительная константа.

Присутствие в целевой функции задачи ЛБП (3) – (10) второго слагаемого объясняется требованием достижения единственности решения задачи (2) [18], или, несколько по-иному, «отсечения» множества решений, лишённых содержательного смысла.

В монографии [19] по отношению к линейной регрессионной модели

$$y_k = \sum_{i=1}^m \alpha_i x_{ki} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, n} \quad (11)$$

поставлена задача выбора из некоторого набора элементарных функций (преобразований)

$$F(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)\}$$

«лучшей» функции (преобразования) для каждой независимой переменной в смысле минимума заданной функции потерь. В качестве f_j могут выступать, например, элементарные функции $\ln(x)$, $\exp(x)$, x^{-1} , x^2 , x^3 , \sqrt{x} и т.д. При этом $f_1(x) = x$.

Как указано в [19], смысл введения таких преобразований состоит в расширении исходного набора объясняющих (независимых) переменных с целью последующего выбора в новом, расширенном наборе из mp переменных совокупности из наиболее "информативных" факторов, каждый из которых соответствует одному и только одному исходному. Тем самым осуществляется переход от линейной регрессии (11) к нелинейной по факторам, по линейной по параметрам регрессионной зависимости вида:

$$y_k = \sum_{i=1}^m \bar{\alpha}_i f_{ji}(x_{ki}) + \bar{\varepsilon}_k. \quad (12)$$

Здесь f_{ji} - преобразование с номером j , оказавшееся «наилучшим» в смысле минимума функции потерь для i -ой объясняющей переменной. Регрессия (12) названа в [19] аддитивной по параметрам зависимостью. Там же предложены два способа ее построения – приближенный для метода наименьших квадратов, реализуемый с помощью одного из пошаговых подходов посредством организации итерационной процедуры, и точный, для МНМ, сводящийся к решению задачи ЛБП. Очевидно, что регрессия (12) характеризуется меньшими ошибками аппроксимации в заданной метрике, чем линейное уравнение (11).

По аналогии с задачей построения аддитивной по параметрам модели (12) поставим задачу выделения из набора $F(x)$ «лучшего» преобразования для каждой независимой переменной в смысле минимума функции потерь (2) по отношению к кусочно-линейной модели (1). Назовем сформированную таким образом модель функцией Леонтьева с нелинейными предикторами:

$$y_k = \min(\bar{\alpha}_1 f_{j_1}(x_{k1}), \bar{\alpha}_2 f_{j_2}(x_{k2}), \dots, \bar{\alpha}_m f_{j_m}(x_{km})) + \bar{\varepsilon}_k, \quad \overline{1, n}. \quad (13)$$

Воспользуемся при этом вторым из перечисленных выше способов.

Сформируем матрицы:

$$Z^j = \|z_{ki}^j\|, \quad j = \overline{1, p}, \quad k = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m},$$

где $z_{ki}^j = f_j(x_{ki})$.

По аналогии с задачей (3) – (10) и используя упомянутый выше прием из [19] для расчета оценок параметров $\bar{\alpha}_i$, $i = \overline{1, m}$ сформируем задачу ЛБП:

$$d_k + u_k - v_k = y_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (14)$$

$$d_k - \sum_{j=1}^g \beta_i^j z_{ki}^j \leq 0, \quad k = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^g \beta_i^j z_{ki}^j - d_k + M_1 \sigma_{ki} \leq M_1, \quad k = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^m \sigma_{ki} = 1, \quad k = \overline{1, n}, \quad (17)$$

$$\beta_i^j - M_2 \delta_i^j \leq 0, \quad j = \overline{1, g}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^g \delta_i^j = 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad (19)$$

$$\beta_i^j \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, g}, \quad (20)$$

$$\sigma_{ki} \in \{0, 1\}, \quad k = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (21)$$

$$\delta_i^j \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, g}, \quad (22)$$

$$\sum_{k=1}^n (u_k + v_k) + l \sum_{j=1}^g \sum_{i=1}^m \beta_i^j \rightarrow \min, \quad (23)$$

где M_1 и M_2 - заранее заданные большие положительные числа.

После решения задачи ЛБП (14) – (23) параметры модели (13) рассчитываются по формуле:

$$\bar{\alpha}_i = \sum_{j=1}^g \beta_i^j.$$

При этом «лучшее» преобразование для i -ой переменной соответствует номеру j при $\delta_i^j = 1$.

Рассмотрим простой численный пример. Пусть исходная выборка данных задана следующим образом:

$$X = \begin{pmatrix} 6 & 5 \\ 2 & 3 \\ 9 & 8 \\ 5 & 1 \end{pmatrix}, \quad y = \begin{pmatrix} 23 \\ 7 \\ 4 \\ 8 \end{pmatrix}.$$

Прежде всего построим по этим данным обычную функцию Леонтьева, решив задачу ЛБП (3) – (10):

$$y_k = \min(1.6x_{k1}, 8x_{k2}) + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, 4}, \quad (24)$$

Сформируем набор преобразований $F(x)$, задав $p = 4$:

$$F(x) = \{x, x^{0.5}, x^2, \ln(x)\}.$$
 Построим модель Леонтьева с нелинейными предикторами (13) посредством решения задачи ЛБП (14) – (23):

$$y_k = \min(4.964x_{k1}^{0.5}, 8x_{k2}^{0.5}) + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1,4}, \quad J(\alpha) = 21.73. \quad (25)$$

При этом получим:

$$\delta_1 = (0,1,0,0); \quad \delta_2 = (0,1,0,0); \quad \sigma = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Это означает, что для обеих независимых переменных лучшим преобразованием оказалось второе, соответствующее квадратному корню, а минимум в модели (25) на первых трех наблюдениях «сработал» на первой компоненте, а на последнем, четвертом, - на второй. При этом сумма модулей ошибок для модели (25) существенно меньше, чем для модели (24), - на 21.27%.

Отметим, что в работе [20] рассмотрен случай, когда преобразованию подвергается зависимая переменная в линейной регрессии (11).

Заключение. В работе предложен способ построения производственной функции Леонтьева с нелинейными предикторами, сводящийся при использовании метода наименьших модулей для оценивания неизвестных параметров к задаче линейно-булевого программирования. Решен простой численный пример.

Список литературы

1. Li T., Rosenman R. Estimating hospital costs with a generalized Leontief function // Health Economics. 2001. V.10. P. 523-538.
2. Yankovy O., Koval V., Trokhymets O., Karpenko M., Matskevich Y. Economic assessment of investment on the basis of production functions // Geplat: Caderno Suplementar. 2020. №2.
3. Saito T. How Do We Get Cobb-Douglas and Leontief Functions from CES Function: A Lecture Note on Discrete and Continuum Differentiated Object Models // Journal of Industrial Organization Education. 2012. V.6. №1.
4. Williamson T., Hauer G., Luckert M. K. A restricted Leontief profit function model of the Canadian lumber and chip industry: potential impacts of US countervail and Kyoto ratification // Canadian Journal of Forest Research. 2004. V.34. №9. P. 1833-1844.
5. Nakamura H. Micro-foundation for a constant elasticity of substitution production function through mechanization // Journal of Macroeconomics. 2009. V.31. №3. P. 464-472.
6. Lecca P., Swales K., Turner K. An investigation of issues relating to where energy should enter the production function // Economic Modelling. 2011. V.28. №6. P. 2832-2841.
7. Bonga-bonga L. The south african aggregate production function: estimation of the constant elasticity of substitution function // South African Journal of Economics. 2009. V.77. №2. P. 332-349.
8. Khalil A.M. A Cross Section Estimate of Translog Production Function: Jordanian Manufacturing Industry // Topics In Middle Eastern And North African Economies. 2005. V.7.
9. Dobos I., Floriska A. A Dynamic Leontief Model with Non-renewable Resources // Economic Systems Research. 2005. V.17. №3. P. 317-326.
10. Al-Salih R., Habeeb A., Laith W. A quantum calculus analogue of dynamic leontief production model with quadratic objective function // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. V.14. №17. P. 6415-6418.
11. Мамонов О.В. Выпуск продукции без замещения ресурсов // Экономический обзор. 2020. №5 (6). С. 25-28.
12. Воронина И.Д. Задача управления организационной структурой в условиях глобального инновационного процесса // Управление большими системами: сборник трудов. 2006. №12-13. С. 51-59.
13. Firmansyah, Oktavilia Sh., Handayani Sri, Industries development with the input-output analysis: investment simulation on two regencies in Indonesia // Economy of Regions. 2023. V.19. №1. P. 220-229.
14. Ершов Э.Б. Композитные производственные функции // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2013. Т. 17. №1. С. 108-129.
15. Носков С.И., Хоняков А.А. Кусочно-линейные регрессионные модели объемов перевозки пассажиров железнодорожным транспортом // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. №4 (40). С. 80-89.
16. Носков С.И. Кусочно-линейная производственная функция погрузки на железнодорожном транспорте // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2022. №4. С. 72-79.
17. Носков С.И., Лоншаков Р.В. Идентификация параметров кусочно-линейной регрессии // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2008. №6. С. 63-64.
18. Носков С.И., Жукова М.С., Кириллова Т.К., Купитман Ю.О., Хоняков А.А. Уточнение способов идентификации параметров некоторых кусочно-линейных регрессий // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2023. №2. С. 75-81.
19. Носков С.И. Технология моделирования объектов с нестабильным функционированием и неопределенностью в данных // Иркутск, Облформпечать, 1996. С. 320.
20. Базилевский М.П., Носков С.И. Алгоритм формирования множества регрессионных моделей с помощью преобразования зависимой переменной // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. №3. С. 159-160.

Носков Сергей Иванович, д-р. техн. наук, профессор, sergey.noskov.57@mail.ru, Россия, Иркутск, Иркутский государственный университет путей сообщения,

Попов Егор Сергеевич, магистрант, popov_es@irgups.ru, Россия, Иркутск, Иркутский государственный университет путей сообщения

APPROACH TO CONSTRUCTING THE LEONTIEF FUNCTION WITH NONLINEAR PREDICTORS

S.I. Noskov, E.S. Popov

The paper proposes a method for constructing a Leontief production function with nonlinear transformations of independent variables. It is based on an algorithm previously developed by one of the authors for the formation of a regression that is additive in parameters and superior in its approximation characteristics to its corresponding linear model. This method reduces to a linear-Boolean programming problem when using the least modulus method to determine unknown parameters. A simple numerical example is solved to demonstrate that the resulting nonlinear Leontief function provides a significant reduction in the sum of error modules compared to its standard analogue.

Key words: Leontief function, variable transformations, parameter additive regression, linear-Boolean programming problem, least modulus method.

Noskov Sergey Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, sergey.noskov.57@mail.ru, Russia, Irkutsk, Irkutsk State Transport University,

Popov Egor Sergeevich, master, popov_es@irgups.ru, Russia, Irkutsk, Irkutsk State Transport University

УДК 629.1.01

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-108-109

ВОЗМОЖНОСТЬ ИНФОРМАТИЗАЦИИ «ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА»

В.В. Новиков, Т.П. Бажина, А.Е. Литвинов, О.В. Якунькина

Человеческим фактором характеризуются те возможные ошибки работников, где чаще всего происходит взаимодействие человека и машины. На сегодняшний день профессии технического направления по типу «человек-машина» или «человек-техника» включают в себя сотни профессий, которые характерны для различных отраслей промышленности: машиностроение и металлообработка, топливная промышленность, энергетическая отрасль, автомобилестроение, системы связи и информационные технологии, космическая промышленность, строительная отрасль, легкая и пищевая промышленность, сельское хозяйство, медицина и нанотехнологии и др.

Ключевые слова: человеческий фактор, цифровизация, безопасность труда, охрана труда, психофизиологические параметры, оператор, область машиностроения.

Для работы с техническими устройствами человек должен обладать определенными профессиональными качествами и личностными особенностями. Некоторые из них показаны в таблице 1.

Возможно ли провести информатизацию тех или иных человеческих качеств для предотвращения травматизма, несчастных случаев и аварий?

Например, на современном этапе для контроля состояния водителей применяют программно-аппаратные комплексы, позволяющие дистанционно проводить медицинские осмотры для определения артериального давления и пульса, температуры тела, паров этанола в выдыхаемом воздухе, насыщения крови кислородом. Медработник утверждает решение о допуске водителей на маршрут усиленной квалифицированной электронной цифровой подписью. Видеозапись процесса контролирует правильность проведения медицинских осмотров. [1,2]

Проведение медосмотров в таком формате позволяет медработнику контролировать несколько организаций независимо от их месторасположения, стоимость такого медосмотра около 40 рублей, кроме того сводится к минимуму риск обмана со стороны водителей.

Вместе с тем состояние здоровья работника может измениться в течение смены, и медицинский контроль перед рейсом не всегда может гарантировать появление переутомления или приступа заболевания в течение рабочей смены.

Фитнес-трекеры позволяют измерить пульс, температуру, потоотделение и транслировать эти данные на мобильные устройства. Если показатели угрожающего уровня, то подается звуковой сигнал работнику, что позволит выиграть время и предотвратить аварию. Сбор информации о состоянии здоровья позволит создать систему здоровья работника и предупредить хронические заболевания [1-5].

Для идентификации и снижения влияния человеческого фактора в обеспечении надежности специалиста предлагаются различные методы, методики и технологии в международной и отечественной науке (таблица 2).

В работах [1-8] уточнено понятие надежности персонала как количественная характеристика безопасности труда для отдельного подразделения. Предложена методика расчета групповой надежности персонала, основанная на использовании экспертных оценок и теории квалиметрии.

Однако характеристика требований надежности человека для каждой профессии особая, предписывающая применение информационных систем и технологий.

Таблица 1

Качества, необходимые для работы с техническими устройствами

Личностные особенности	Профессиональные качества	Основные трудовые функции
Точное зрительное и слуховое восприятие	Конструкторское мышление	Монтаж ремонт конструкций, сооружений
Развитое воображение	Изобретательность	Починка и сборка аппаратов, приборов
Хорошая координация движений	Точность и определенность действий	Ремонт и обслуживание электрооборудования
Развитое логическое мышление	Дисциплинированность и исполнительность	Обслуживание механического оборудования и установок
Ответственность	Дисциплинированность и точность действий	Управление транспортными средствами
Высокая концентрация мышления	Решение сложных задач	Производство и обработка металлов
Хорошая память	Применение приобретенных навыков	Ремонт и сборка механического оборудования
Развитая моторика рук	Скорость действий	Обслуживание оборудования
Способность переключать мышление	Изобретательность и конструкторское мышление	Сборка приборов, ремонт и обслуживание аппаратов

Таблица 2

Методы, методики и технологии, применяемые в международной и отечественной науке, для идентификации и снижения влияния человеческого фактора в обеспечении надежности специалиста

Сокращенное название метода	Перевод названия метода	Краткое описание
ASEP Accident Sequence Evaluation Program	Программа оценки последовательности несчастного случая	Критические задачи разбивают на подзадачи, которые размещают на дереве событий. Стандартные действия делают на критические и проводят диагностику нарушений. Основан на экспертных оценках и допускает быстрый предварительный выбор важных задач
AIPA Accident Initiation and Progression Analysis	Анализ инициирования и прогрессии несчастного случая	Описание методов и приемов, используемых при анализе рисков. Выбор события, построение дерева событий, оценка вероятности, оценка последствий и представление результатов
APJ Absolute Probability Judgement	Вывод абсолютной вероятности	Реализован подход количественного определения надежности путем использования нескольких экспертных оценок: 1 – совокупность отдельных экспертных заключений, на основе которых вычисляются геометрические показатели надежности; 2 – для получения решения задачи определяется совокупность последовательных опросов экспертов; 3 – эксперты имеют возможность обсудить неодинаковые оценки для определения итогового значения показателя; 4 – совместная выработка экспертами согласованного итогового показателя
ATHEANA A Technique for Human Error Analysis	Техника анализа ошибки человека	Идентифицирует события отказа человеческого фактора, анализирует сценарии опасных событий. Отказы человеческого фактора включают ошибки, вызывающие опасные события, их определяют количественно, объединяя вероятности действий и их последствий. Основан на экспертных оценках
CAHR Connectionism Assessment of Human Reliability	Оценка связанности надежности человека	Состоит: 1 – структурированной формы сбора данных; 2 – качественного анализа сбора данных; 3 – оценка надежности человеческого фактора. Для выполнения оценки необходимы данные эксплуатации или поведения людей
CESA Commission Errors Search and Assessment	Писк и оценка ошибок поручения	Анализ надежности персонала на основе идентификации ошибок на уровне событий, связанных с человеческим фактором. Интеграция ошибок в вероятностную оценку безопасности и количественную оценку активной роли оператора – отказа или недоступности компонента
CM Confusion matrix	Матрица беспорядка	Матрица беспорядка или матрица путаницы (ошибок) – особый формат таблицы, который позволяет представить производительность алгоритма (каждое сочетание измерения и класса является переменной в таблице непредвиденных обстоятельств)
CODA Conclusion from Occurrences by Descriptions of Actions	Заключения по описаниям действий	Анализ заключается в составлении списка опасностей, который могут привести к травмам или заболеваниям, если их не контролировать. Определение факторов, которые могут повлиять на вероятное возникновение опасности. Возможность их предотвратить, устранить или снизить до приемлемого уровня
COGENT Cognitive Event Tree	Дерево когнитивного события	Метод графического представления для адаптации существующей технологии – деревьев событий анализа надежности человека, используемых для поддержки логических структур и вычислений последовательности событий – для включения представления базовой когнитивной деятельности и соответствующих ошибок, связанных с деятельностью человека
COSIMO Cognitive Simulation Model	Модель когнитивного моделирования	Когнитивная модель – сочетание информационных механизмов и процессов, происходящих в сознании человека. Способность использовать человеческий интеллект для объединения его характерных особенностей с инженерными приложениями (когнитивные компьютеры, когнитивные базы знаний, когнитивное моделирование работы человеческого разума, когнитивные роботы)
CREAM Cognitive Reliability and Error Analysis Method	Метод когнитивной надежности и анализа ошибок	Анализ ошибок, нахождение путей их снижения. Метод применим для анализа и прогноза надежности специалистов, которых разделяют на генотипы (фенотипы): 1 – имеющие прямую или косвенную связь с поведением; 2 – касающиеся человеко-машинного взаимодействия и ин-

		терфейса; 3 – символизирующие организацию, окружение. Для каждой группы определяются оценочные показатели и выдаются рекомендации для повышения их эффективности
DNE Direct Numerical Estimation	Прямая числовая оценка	Числовая оценка настроена таким образом, что может стать надежным инструментом для прогнозирования заведомо сложных задач с большой точностью
DREAMS Dynamic Reliability Technique for Error Assessment in Man-machine Systems	Техника динамической надежности для анализа ошибки в системах «человек-техника»	Методика поведения человека зависит от рабочей среды, в которой действует оператор, и его психологического состояния, связанного со стрессом, эмоциональными факторами, недостатка знаний. Вероятность ошибочных действий и восстановления является функцией общей корреляции «стресс в действии», который представляет влияние стресса на поведение оператора. Проводится оценка мгновенных вероятностей человеческой ошибки или восстановления, которые динамически оцениваются во время последовательности взаимодействия человека и машины
ESAT	Экспертная система для таксономии задач	Определение рейтинга надежности по шкале от 1 до 10 с помощью оценок, частично определяющими экспертами, частично – вероятностью реализации и критичностью ошибки на основе вероятностей появления ошибок и величины последствий
FACE Framework for Analysing Commission Errors	Матрица анализа ошибок поручения	Представляет собой пятишаговую последовательность: 1 – сбор информации; 2 - формирование перечня опасностей; 3 – оценка рисков выявленных опасностей; 4 – разработка мер по устранению опасностей; 5 – документирование процедуры оценки
HCR Human Cognitive Reliability	Когнитивная надежность человека	Метод разработан на основе экспериментов по определению надежности оператора. В задачах, описанных в процедурах для зависящих и не зависящих от времени отказов, их причина известна. Рассматривают восемь механизмов ошибок. Приведены рекомендации для моделирования дерева принятия решений
HEART Human Error Assessment and Reduction Technique	Техника оценки и уменьшения ошибки человека	Метод предназначен не для элементарных, а для общих задач системы. Номинальное значение выбирают на основе сравнения задачи с перечнем восьми основных задач, для которых определены значения. Затем заменяют рейтингом, определенным по перечню из 38.
HORAAM Human and Organisational Reliability Analysis in Accident Management	Анализ человеческой и организационной надежности в управлении несчастным случаем	Метод учитывает аспекты человеческой и организационной надежности при управлении авариями, основан на методе дерева решений. Экспертное заключение использовалось для проверки, ранжирования и оценки значений факторов, чтобы упростить количественную оценку «дерева».
HRMS Human Reliability Management System	Система управления надежностью человека	Метод анализа надежности человека связан с прогнозированием и оценкой системных сбоев, которые являются результатом неправильных действий или бездействий человека, а не отказа физического элемента в системе. Метод учитывает компоненты, характеризующие человеческие ошибки с использованием различных критериев
JHEDI Justified Human Error Data Information	Информация о данных оправданной ошибки человека	
MAPPS Maintenance Personnel Performance Simulation	Моделирование исполнения работы персонала	Модель поведения человека, разработана для оценки показателей эффективности работы технического персонала в отношении человек-машина, человек-окружающая среда, человек-человек. Основные показатели производительности: вероятность успешного завершения интересующей задачи; время продолжительности задачи, выявление наиболее вероятных элементов, подверженных ошибкам, профили стресса во время выполнения задачи. Модель подвергается ряду оценок, направленных на ее практичность, приемлемость, полезность и обоснованность. Методы включали подход кейс-метода, консенсусную оценку и сравнение с наблюдаемыми показателями выполнения задач
MERMOS Method d'Evaluation de la Realisation des Missions Operateur pour la Surete (Assessment method for the performance of safety operation)	Метод оценки для исполнения операции безопасности	Метод основан на оценке исполнения операции безопасности, неотложных действий в течение первых часов после инцидента
MMTH/PRA		Метод основан на трех конструкциях: базовая надежность человека зависит от общей природы задачи; в комфортных условиях уровень надежности склонность к последовательному достижению вероятности в определенных пределах; условия не всегда допустимые, надежность человека может снижаться как функция степени, к которой может приблизиться идентифицированная зависимость от условий ошибка
OATS Operator Action Tree System	Дерево системы действий оператора	Метод качественной и количественной оценки надежности персонала. Этот метод позволяет выявлять, моделировать и оценивать задачи, влияющие на риск возникновения аварий в рамках количественного анализа риска
OHPR Operation Human Performance Reliability Analisis	Анализ надежности операционной деятельности человека	Метод оценки деятельности человека, который разрабатывается в практических и эффективных инструментах для улучшения работы человека, общей производительности и безопасности системы. Он ориентирован не на вычисление вероятностей человеческих ошибок, а на практический анализ деятельности человека, чтобы помочь руководству в выявлении открытых и решаемых проблем с закрытыми проблемами и предоставлении информации о важности и характере потенциальных улучшений. В

		разработке модели используется уникальный подход к выявлению экспертных стратегий для оценки производительности
PHRA Probabilistic Human Reliability Assessment	Вероятностная оценка надежности человека	Метод аналогичен аппаратным методам. Задача, которую необходимо выполнить, разбивается на ряд элементов, и составляется модель сбоя (аналогично дереву событий или дереву неисправностей), которая определяет различные сбои и способы их устранения. Вероятности человеческих ошибок из банка данных модифицируются с учетом условий эксплуатации и затем присваиваются каждому элементу задачи в модель сбоя. Они могут быть дополнительно изменены, чтобы отразить зависимости между элементами задачи. Затем эти вероятности объединяются, используя стандартные математические правила, чтобы получить общую вероятность для задачи в целом
SHARP Systematic Human Action Reliability Procedure	Процедура надежности систематических действий человека	Структура метода состоит из семи отдельных шагов: 1 – идентификация человеческих взаимодействий; 2 – формулировка ключевых предположений; 3 – сосредоточение внимания на ключевых взаимодействиях между людьми; 4 – их подробное описание; 5 – учет влияния действия человека на события, смоделированные в исследованиях; 6 – количественная оценка воздействия; 7 – документирование результатов
SLIM-MAUD Success Likelihood Index Methodology, Multi-attribute Utility Decomposition	Методология индекса вероятности успеха, декомпозиция утилиты с несколькими атрибутами	Эксперты определяют соответствующие задачи и назначают конечные точки по шкале от 1 до 9. На каждой шкале отмечают точку идеальной работы и используют ее для повторного ранжирования. Индекс возможности успеха вычисляются на основе общей суммы взвешенных рангов и преобразуют в вероятностную шкалу
SPAR-H Simplified Plant Analysis Risk Human Reliability Assessment	Оценка упрощенного заводского анализа риска надежности человека	Состоит из двухступенчатого процесса идентификации номинальных вероятностей ошибок человека и последующего изменения ошибки человека на основе суммарного уровня факторов работы и их зависимости
STAHN Socio-Technical Assessment of Human Reliability	Социотехническая оценка надежности человека	Модель количественно определяет влияние ошибок, возникающих из-за знаний, способностей и среды выполнения задач, в сочетании с факторами, описывающими сложность действий. Оценка надежности системы позволяет интерактивно манипулировать моделью человеческих ошибок в соответствии со сценариями высокого уровня
TESEO Tecnica Empirica Stima Errori Operatori (Empirical Technique to estimate operator errors)	Эмпирическая техника оценки ошибок оператора	Метод оценивает вероятность человеческой ошибки, возникающей при выполнении конкретной задачи. На основе такого анализа можно принять меры для снижения вероятности ошибок, возникающих в системе, и повысить общий уровень безопасности. Модель основана на времени, описывает вероятность отказа как мультипликативную функцию пяти основных факторов: тип задачи, которую необходимо выполнить; время, доступное оператору для выполнения задачи; уровень опыта или характеристики оператора; настроение оператора; преобладающие экологические и эргономические условия. Используя эти функции, рассчитывается вероятность человеческой ошибки
THERP Technique for Human Error Rate Prediction	Техника прогноза частоты ошибки человека	Стандартные задачи раскладываются на подзадачи, в которых большая единица анализа определяется как независимый от предыдущих действий шаг. Прогнозируются типовые ошибки и устанавливаются вероятности правильного выполнения задачи, что позволяет увеличить и контролировать надежность легкоуязвимых подзадач

Заключение. Моделирование и количественная оценка надежности человека – это сложная проблема, включающая множество параметров, связанных с поведением человека и взаимодействием между человеком и системами предприятия.

Как показывает широкая вариативность результатов, полученных с помощью различных методов оценки человеческой ошибки, цифровизация надежности человека является развивающейся наукой. Анализ человеческой надежности улучшит согласованность, последовательность и воспроизводимость полученных результатов. При цифровизации альтернативного моделирования логики действий человека и количественной оценке ошибок возможно обеспечить необходимый уровень безопасности на предприятиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/56.

Список литературы

1. Якунькина О.В., Новиков В.В., Левчук А.А. О повышении мотивации личностного потенциала работника-оператора в процессе обучения персонала по охране труда // Научный потенциал вуза – производству и образованию / III Международная научно-практическая конференция, посвященная 75-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг. 2020.
2. Новиков В.В. Теоретические основы качественной (интегральной или обобщенной) оценки состояния бт на предприятиях с использованием квалиметрических методов / В Новиков В.В., Литвинов А.Е., Дудкин М.В., Стягун Д.И. // В сборнике: Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. Краснодар, 2022. С. 259-265.
3. Solod S.A. Structuring information on the state of labor safety at mechanical engineering enterprises / Solod S.A., Novikov V.V., Litvinov A.E., Chukarin A.N. // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. "International Scientific and Practical Conference Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering, ERSME 2020" 2020. С. 012112.
4. Finochenko, T. Risk Management in Transportation Safety System/ Finochenko, T., Yizkov, I, Dergacheva, L // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021. Volume 2. С. 144-145. DOI: 10.1088/1755-1315/666/2/022050.

5. Borisova A.V. The Use of the Expert Method in Solving the Issues of Choosing the Instrumentation of the Procedure for Controlling Production Factors/ Borisova, A.V., Finochenko, T.A., Finochenko, V.A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing ([Bristol, UK], England), 2021. Volume 666 № 2. DOI: 10.1088/1755-1315/666/2/ 022022.

6. Новиков В.В. Управление персоналом на предприятиях машиностроения с применением процессного подхода / Новиков В.В., Согомоян Т.К., Солод С.А. // Главный механик. 2019. № 7. С. 55-62.

7. Согомоян Т.К. Улучшение состояния промышленной безопасности посредством применения процессного подхода / Согомоян Т.К., Солод С.А., Солод А. А. // Технические науки - от теории к практике // Сборник статей по материалам XLVI Международной научно-практической конференции. Новосибирск: Изд. «СибАК», 2015. №5 (42). С. 87-91.

8. Согомоян Т.К. Процессный подход к информатизации управленческой деятельности промышленного предприятия./ Согомоян Т.К., Солод С.А. // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная. Материалы IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 85-летию БГИТА (Брянск, 3-5 июня 2015 г.). Брянск, Изд-во БГИТА, 2015. С. 351-356. EDN: WOKGUH.

Новиков Валерий Владимирович, д-р техн. наук, профессор, novikiv.v.v@mail.ru, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет,

Бажина Татьяна Петровна, канд. техн. наук, доцент, via@rgups.ru, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет,

Литвинов Артем Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор, artstyleone@mail.ru, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет,

Якунькина Олеся Владимировна, аспирант, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет

POSSIBILITY OF INFORMATIZATION OF THE «HUMAN FACTOR»

V.V. Novikov, T.P. Bazhina, A.E. Litvinov, O.V. Yakunkinan

The human factor is characterized by those possible errors of workers where interaction between man and machine most often occurs. Today, technical professions of the “man-machine” or “man-technology” type include hundreds of professions that are typical for various industries: mechanical engineering and metalworking, fuel industry, energy industry, automotive industry, communication systems and information technology, space industry, construction industry, light and food industries, agriculture, medicine and nanotechnology, etc.

Key words: human factor, digitalization, labor safety, labor protection, psychophysiological parameters, operator, mechanical engineering.

Novikov Valery Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, novikiv.v.v@mail.ru, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University,

Bazhina Tatyana Petrovna, candidate of technical sciences, docent, via@rgups.ru, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University,

Litvinov Artyom Evgenievich, doctor of technical sciences, professor, artstyleone@mail.ru, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University,

Yakunkina Olesya Vladimirovna, postgraduate, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University

ПРОБЛЕМАТИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В ОХРАНЕ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ

В.В. Новиков, Т.П. Бажина, А.Е. Литвинов, О.В. Якунькина

Технологическое обеспечение устойчивого функционирования и развития производственных систем – одна из основополагающих национальных целей развития России до 2030 года. Достижение более высокой эффективности и производительности с помощью передовых технологичных решений представляют собой новый подход, демонстрирующий концепцию цифровой трансформации системы управления безопасностью труда через интеграцию искусственного интеллекта в систему «человек – техническая система – производственная среда».

Ключевые слова: концепция цифровой трансформации системы управления безопасностью труда, охрана труда, психофизиологические параметры, оператор, область машиностроения, человеческий фактор.

Технологический прогресс предполагает изменение условий на рабочих местах с целью повышения производительности труда, связанных с модернизацией технологического оборудования, автоматизацией операций, осуществляемых в производственных процессах, постоянного роста требований, предъявляемых к работникам организаций, для которых неотъемлемым фактором трудоспособности становится успешная адаптация и возможность управления новыми цифровыми сервисами.

Методология цифровой трансформации управления безопасностью труда предоставляет возможность выполнять обязательства работодателя, согласно Трудовому Кодексу Российской Федерации, опираясь на единую прозрачную базу данных по вопросам безопасности, и имеет ряд преимуществ:

- обучение сотрудников организации требованиям охраны труда и смежным профессиям при помощи сервисов по охране труда;
- проведение медицинских осмотров удаленно при, используя телемедицинское оборудование;
- ведение электронного кадрового документооборота;
- осуществление аудита удаленных и труднодоступных объектов в формате онлайн, сократив при этом сроки проверок и оптимизируя финансовые ресурсы на транспортировку членов комиссии;
- снижение риска возникновения травматизма и профессиональных заболеваний за счет внедрения в производство современных высокотехнологичных средств индивидуальной защиты и цифровых технологий.

Автоматизация и роботизация рабочих задач наиболее актуальна в отрасли машиностроения, создающей для отраслей промышленности металлообрабатывающие, деревообрабатывающие станки, автоматические и полуавтоматические линии, а также комплексно-автоматического производства для изготовления оборудования, изделий из металла, машин и иных конструкционных материалов.

На сегодняшний день в технологические процессы предприятий машиностроительного комплекса планируются и уже частично внедрены в охрану труда следующие виды высокотехнологических устройств:

- умные камеры, предназначенные для своевременного обнаружения поломки оборудования, выявления рисков возникновения аварийных ситуаций и - предотвращения несчастных случаев;
- умные средства индивидуальной защиты (smart-СИЗ), созданные для выявления рисков травмирования, предупреждения об опасностях и снижения физической нагрузки на работника в течение рабочей смены:
- интеллектуальные каски;
- сигнальные жилеты;
- роботизированные костюмы (экзокостюмы);
- AR-очки;
- интеллектуальная обувь;
- компьютерные тренажеры, онлайн-курсы, электронная платформа по охране труда, используемые для обучения сотрудников и оказания помощи работникам в трудовом процессе;
- датчики мониторинга физического состояния в режиме реального времени.

В настоящее время ведущими научно-исследовательскими институтами Российской Федерации ведется активная работа над созданием токопроводящих текстильных волокон, способных считывать психофизиологическое состояние работников по трем основным направлениям, базируемых на применении физических, химических и электрофизиологических сенсорных функций.

Физические сенсорные функции применяются при считывании биометрических параметров, таких как дыхание, пульс, температура тела, давление и другие параметры, с последующей передачей данных системе искусственного интеллекта для анализа.

Химические сенсорные функции используются для определения изменений параметров физиологического диапазона pH, пота, наличия примесей опасных химических веществ в окружающей среде, имеющих решающее значение для профилактического здравоохранения.

Измерение электрофизиологических сенсорных функции осуществляют для снятия электрокардиограммы, электромиограммы и электроэнцефалограммы с использованием компактных датчиков и токопроводящих дорожек.

Ключевая цель – обеспечение возможности изготовления указанных систем и их свободного применения в виде несъемных элементов одежды.

Проведение широкомасштабной цифровой трансформации, интеграция инновационных технологий и совершенствование сферы безопасности труда влекут за собой автоматизацию производственных процессов, дистанционное управление технологическим оборудованием, контроль за безопасными условиями труда, внедрение интеллектуальных средств индивидуальной защиты, обеспечение безопасности данных, мониторинг состояния здоровья и новые каналы для оповещения работников и медицинского персонала о критических ситуациях. Указанные решения формируют новые комфортные условия труда, основой которых является безопасность работников предприятия.

При этом одним из основных подходов выступает переориентированный с технологии на человека подход, в основе которого лежат потребности и интересы именно работника.

Детальное изучение трудовой деятельности позволяет рационально разъяснить методы и средства совершенствования профессионально важных качеств работников, основанных на психофизиологических параметрах, личностных и интеллектуальных качествах.

Трудовая деятельность операторов в области машиностроения базируется на установке, выверении, закреплении на станках обрабатываемых заготовок, задании режимов работы, управлении электрооборудованием и механизмами, наблюдении за работой станков и нормами технологического процесса, обеспечении бесперебойной работы станков, осуществлении профилактических мер, что в свою очередь крайне опасно.

Профессиональная пригодность, основанная на системе признаков, описывающих деятельность оператора, и включающая перечень норм и требований, предъявляемых профессией непосредственно к человеку, осуществляющему трудовую деятельность, основу которой составляет взаимодействие с объектом воздействия, машиной и средой на рабочем месте при использовании информационной модели и органов управления, проявляется в конкретных промежуточных, в том числе конечных результатах подготовки и реальной деятельности, а именно успешном достижении определенных целей и задач, достигнутого уровня производительности и надежности выполненных операций.

Оценочные значения социотехнических субъектов, измеряемые датчиками мониторинга физического состояния, в соотношении с их с нормативными показателями и медицинскими показаниями или противопоказаниями, определяется ролью оценок в регуляции деятельности на основе включения механизма обратной связи и влиянием этих оценок на допуск или недопуск к выполнению трудовых обязанностей конкретного работника.

Основными психофизиологическими параметрами в структуре деятельности оператора, влияющими на безопасность, являются:

- внимание – конкретная направленность и сосредоточенность, выраженная в концентрации, распределении, устойчивости, переключении;
- память – усвоение, сохранение и воспроизведение информации, проявляется в видах зрительной, слуховой, обонятельной, вкусовой, моторной, эмоциональной и комбинированной памяти;
- мышление – представление человека об объекте, его свойствах и иных параметрах;
- психомоторные качества – способность человека к управлению двигательными действиями;
- свойства нервной системы, влияющие на выносливость, подвижность, эмоциональную уравновешенность, динамичность, активность;
- эмоции – профессионально важный компонент, влияющий как на устойчивость при возникновении происшествий, так и на формирование позитивных взаимоотношений в коллективе, демонстрирует свойства нервной системы;
- работоспособность – способность работника в течении рабочей смены поддерживать требуемый уровень выполнения обязанностей с заданным качеством;
- утомление – субъективно воспринимаемое человеком явление, проявляющееся в форме усталости, снятие или снижение уровня утомления возможно в процессе рационального распределения режимов труда и отдыха, и восстановления работоспособности во время перерывов на отдых.

Состояние свойств и качеств, перечисленных выше, а именно физических, химических и электрофизиологических сенсорных функций, определяемых в процессе измерения и оценки, отражают объективность и адекватность работника в принятии решений и выполнении задач деятельности.

Большинство видов профессиональной деятельности имеют прямую зависимость от качества принимаемых решений в внезапно возникших происшествиях, способных вызвать психическое отражение в виде стресса, что в свою очередь может оказать существенное влияние на физиологическое состояние работника и нарушить нормальную регуляцию трудовой деятельности. Исследование человеческого фактора в процессе принятия решений требует рассмотрения всех компонентов психической системы, возникающих при осуществлении деятельности. Как правило, при возникновении непредвиденных обстоятельств, при условии высокого уровня ответственности за принятое решение и выполненные действия, высока вероятность принятия ошибочных решений. Обеспечение высокой надежности работы оператора и системы – цель цифровой трансформации системы управления безопасности труда.

Психофизиологические параметры, достигшие «опасных точек» и свидетельствующие об отклонении от норм медицинских показаний для удовлетворительного исполнения трудовых обязанностей оператором в области машиностроения, которые могут быть измеримы датчиками мониторинга физического состояния следующие:

- влияние на психомоторные качества:
- нарушение функций опорно-двигательного аппарата;
- ухудшение работы сердечнососудистой системы;
- нарушение функций вестибулярного аппарата;
- нарушения координации движений кистей и пальцев рук, потеря сознания;
- заболевания дыхательных органов, органов зрения и слуха, аллергические реакции (следствие проявления профессиональных заболеваний);
- свойства нервной системы:
- нервно-психические расстройства;
- мышление, память, внимание;
- отклонения когнитивных функций головного мозга, и т.п.

Каждое из перечисленных свойств может рассматриваться отдельно по отношению к процессам возбуждения и торможения психофизиологических параметров, следовательно, и деятельности. Однородные свойства, взятые относительно каждого из этих процессов, имеют дуальный характер, и могут быть следствием рассматриваемых параметров.

Диагностика психофизиологических параметров датчиками мониторинга физического состояния работника, позволит с обозримой вероятностью выявить работников, входящих в группу риска заведомо до проведения периодического медицинского осмотра. Что в свою очередь послужит основанием оказать необходимую помощь работникам производства или направить на внеочередной медицинской осмотр.

Изучение и своевременный анализ познавательных функций, нервной системы и психомоторных качеств работников при помощи токопроводящих текстильных волокон возможно проводить диагностику механизмов регуляции функциональных состояний, влияющих на проявление личностных особенностей и изменения трудового поведения операторов для повышения качества, и эффективности производства.

Изменение модели регулирования сферы охраны труда позволит пройти процессу качественного преобразования производства более динамично.

Устойчивое развитие цифровой трансформации системы управления безопасностью труда – концепция, предполагающая человекоцентричный подход, основанный на достижении благополучия работников, путем обеспечения персонала необходимыми ресурсами, включающими в себя методы определения профессиональной пригодности, и компетентности работников, их быстрой реакции и высокой ответственности при осуществлении трудовой деятельности.

Рационально сформированный процесс взаимодействия работников и интегрированных в производственные процессы высокотехнологичных разработок, позволят значительно сократить риск возникновения несчастных случаев, аварийных ситуаций, что отразится на качестве выполняемых задач и повышении производительности труда. Учитывая пользу, которую могут принести «умные» системы, и помощь, своевременно оказанную работникам, при грамотной их эксплуатации, вероятность ошибки, совершенной человеком, на основе анализа психофизиологических параметров, может быть существенно минимизирована. Так как управление техническими системами требует высоких энергозатрат, обработка неструктурированной информации, считываемой с технологического оборудования, может быть классифицирована более удобным образом и распределена в определенных формулярах, пользоваться которыми сможет, пройдя обучение, более широкий круг работников.

Основными преимуществами совместной работы человека и элементов цифровой трансформации управления безопасностью труда выступают:

повышенная эффективность при взаимодействии сильных сторон человека-оператора и высокотехнологических устройств;

сведение к минимуму проявления негативных последствий человеческого фактора в производственной деятельности при возникновении непредвиденных обстоятельств;

оптимизация финансовых и человеческих ресурсов;

сокращение рисков возникновения производственного травматизма;

устойчивость в работоспособности и производительности сотрудников и производстве качественной продукции, за счет экономической эффективности;

мотивация развития и самоконтроля работников производства.

Мониторинг поведения и производительности труда работников организации, на примере считывания и анализа опасных действий, самочувствия и перемещения по территории производства позволят работодателю и специалистам службы охраны труда позволят не только наблюдать за действиями, совершаемыми персоналом, собирать необходимую информацию для предупреждения неблагоприятных обстоятельств, но и предоставят возможность для моделирования, близкого к реалистичному, условий и рабочих сред для отработки навыков быстрой реакции для недопущения аварийных ситуаций на производстве.

Заключение. Моделирование и количественная оценка надежности человека – это сложная проблема, включающая множество параметров, связанных с поведением человека и взаимодействием между человеком и системами предприятия.

Как показывает широкая вариативность результатов, полученных с помощью различных методов оценки человеческой ошибки, цифровизация надежности человека является развивающейся наукой. Анализ человеческой надежности улучшит согласованность, последовательность и воспроизводимость полученных результатов. При цифровизации альтернативного моделирования логики действий человека и количественной оценке ошибок возможно обеспечить необходимый уровень безопасности на предприятиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/56.

Список литературы

1. **Якунькина О.В.**, Новиков В.В., Левчук А.А. О повышении мотивации личностного потенциала работника-оператора в процессе обучения персонала по охране труда // Научный потенциал вуза – производству и образованию / III Международная научно-практическая конференция, посвященная 75-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг. – 2020.
2. **Новиков В.В.** Теоретические основы качественной (интегральной или обобщенной) оценки состояния бт на предприятиях с использованием квалиметрических методов / В Новиков В.В., Литвинов А.Е., Дудкин М.В., Стягунов Д.И. // В сборнике: Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. Краснодар, 2022. С. 259-265.
3. **Solod S.A.** Structuring information on the state of labor safety at mechanical engineering enterprises / Solod S.A., Novikov V.V., Litvinov A.E., Chukarin A.N. // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Ser. "International Scientific and Practical Conference Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering, ERSME 2020" 2020. С. 012112.
4. **Finochenko, T.** Risk Management in Transportation Safety System/ Finochenko, T., Yizkov, I, Dergacheva, L // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 2, с. 144-145 (2021). doi:10.1088/1755-1315/666/2/022050
5. **Borisova, A.V.** The Use of the Expert Method in Solving the Issues of Choosing the Instrumentation of the Procedure for Controlling Production Factors/ Borisova, A.V., Finochenko, T.A., Finochenko, V.A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing ([Bristol, UK], England), Volume 666 № 2, 2021, doi:10.1088/1755-1315/666/2/022022. doi:10.1088/1755-1315/666/2/022022
6. **Новиков В.В.** Управление персоналом на предприятиях машиностроения с применением процессного подхода / Новиков В.В., Согомонян Т.К., Солод С.А. // Главный механик. 2019. № 7. С. 55-62.
7. **Согомонян Т.К.** Улучшение состояния промышленной безопасности посредством применения процессного под-

хода/ Согомонян Т.К., Солод С.А., Солод А. А.// Технические науки - от теории к практике // Сборник статей по материалам XLVI Международной научно-практической конференции. - Новосибирск: Изд. «СибАК», 2015. - №5 (42). - С. 87-91.

8. **Согомонян Т.К.** Процессный подход к информатизации управленческой деятельности промышленного предприятия./ Согомонян Т.К., Солод С.А. // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная. Материалы IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 85-летию БГИТА (Брянск, 3-5 июня 2015 г.). - Брянск, Изд-во БГИТА, 2015. - 372 с. С. 351-356. - 978-5-98573-183-5. ISBN: 978-5-98573-183-5 EDN: WOKGUH

Новиков Валерий Владимирович, д-р техн. наук, профессор, novikiv.v.v@mail.ru, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет,

Бажина Татьяна Петровна, канд. техн. наук, доцент, via@rgups.ru, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет,

Литвинов Артем Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор, artstyleone@mail.ru, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет,

Якункина Олеся Владимировна, аспирант, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет

PROBLEMS OF DEFINITION AND DIGITALIZATION OF THE HUMAN FACTOR IN OCCUPATIONAL SAFETY AT THE ENTERPRISE

V.V. Novikov, T.P. Bazhina, A.E. Litvinov, O.V. Yakunkinan

Technological support for the sustainable functioning and development of production systems is one of the fundamental national development goals of Russia until 2030. Achieving higher efficiency and productivity with the help of advanced technological solutions represents a new approach that demonstrates the concept of digital transformation of the occupational safety management system through the integration of artificial intelligence into the "human - technical system - production environment" system.

Key words: concept of digital transformation of the occupational safety management system, labor protection, psychophysiological parameters, operator, mechanical engineering, human factor.

Novikov Valery Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, novikiv.v.v@mail.ru, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University,

Bazhina Tatyana Petrovna, candidate of technical sciences, docent, via@rgups.ru, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University,

Litvinov Artyom Evgenievich, doctor of technical sciences, professor, artstyleone@mail.ru, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University,

Yakunkina Olesya Vladimirovna, postgraduate, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University

ПСИХО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЧЕЛОВЕКА — ОПЕРАТОРА В СИСТЕМЕ ЧЕЛОВЕК-МАШИНА-СРЕДА ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИЕЙ

В.В. Новиков, Т.П. Бажина, А.Е. Литвинов, О.В. Якунькина

Ключевой обязанностью работника организации является соблюдение требований охраны труда, что в свою очередь служит основанием для безаварийной работы или снижает вероятность возникновения несчастного случая. Подбор профессионально подготовленных работников, специфика труда которых связана с источником повышенной опасности, гарантирует минимизацию потенциальных простоев в случае возникновения непредвиденных обстоятельств. Сфера научных исследований профессиональной подготовленности работников, компетентность которых обусловлена способностью осуществлять определенную деятельность с заданным качеством в условиях выполнения опасных, вредных работ и работ, требующих повышенного внимания, быстрой реакции и высокой ответственности, разнообразна и получила освещение в ряде научных направлений. Так с точки зрения ноксологии, предметом которой является система «человек-опасность», личность безопасного типа должна отличаться определенным уровнем психологической устойчивости и готовности к действиям в различных жизненных ситуациях. Психологическая готовность личности безопасного типа объясняется предвидением опасностей, осознанием возможностей уклониться от опасностей; наличием навыка преодоления опасности

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровизация, безопасность труда, охрана труда, психофизиологические параметры, оператор, область машиностроения

В соответствии с показателями статистических данных о производственном травматизме предприятий сферы пищевой промышленности и услуг в период с 2013 по 2020 годы, причинами несчастных случаев, в результате которых пострадало наибольшее количество работников, явились случаи нарушения установленного порядка ведения работ и технологических процессов, произошедшие по вине человека.

Проведение расследования, установления коренных причин происшествий всех категорий и выявление ошибочных действий работников – неотъемлемая часть системы управления охраны труда в организации.

Согласно анализу коренных причин происшествий одной из главных непосредственных причин аварий и несчастных случаев в ряду нарушений правил безопасности является человеческий фактор [2].

На рисунке 1 продемонстрирован перечень причин возникновения аварийных ситуаций и несчастных случаев в процессе эксплуатации взрывопожароопасных объектов хранения и переработки растительного сырья в указанный период. Основными причинами, при этом определены: удушье в результате попадания сыпучего продукта в дыхательные пути, падение с высоты в результате неудовлетворительной организации работ, травмирование рабочими органами технических устройств (в том числе механические травмы, термические ожоги) и травмирование в результате аварии (взрыва) на ОПО.



Рис. 1. Количество несчастных случаев со смертельным исходом по виду травмирующего фактора в период с 2013 по 2020 г.г.

На примере события, произошедшего 06 августа 2021 года в ЗАО «Чусовская мельница», расположенной в Пермском крае поселке Лямино рассмотрим несчастный случай со смертельным исходом. Данный несчастный случай произошел на ОПО III класса опасности с грузчиком предприятия, который, без признаков жизни был обнаружен в конусной части бункера для хранения отрубей с затянутыми в цепной конвейер ногами.

Основными организационными причинами происшествия, установленными в ходе расследования, явились:

неудовлетворительная организация и осуществление производственного контроля и обеспечения производства работ;

не своевременная актуализация инструкций по охране труда для профессий и видов выполняемых работ; несоблюдение требований охраны труда при работе на высоте, а также требований промышленной безопасности при работах в силосах и бункерах.

На основе анализа материалов расследования были проведены следующие мероприятия: доведены обстоятельства и причины происшествия до всего персонала предприятия; сформированной рабочей группой из числа профильных специалистов проведены организационные и технические мероприятия по подготовке и выполнению работ повышенной опасности, по организации и осуществлению производственного контроля соблюдения требований охраны труда и промышленной безопасности; произведен мониторинг выполнения работ с обязательным использованием (применением) средств индивидуальной защиты; разработан Конструктор требований к специализированной технике, в котором учтены: порядок допуска и квалификационные требования к персоналу, управляющему специализированной техникой;

порядок и периодичность проведения проверок техники и спецоборудования, их оснащению и комплектации средств безопасности указанной техники.

Нельзя не отметить, что при многоаспектности причин и высокой значимости последствий (причинение вреда жизни и здоровью человека) действий, в том числе бездействий работников данного предприятия, основной причиной явился именно человеческий фактор.

Благодаря глобальным изменениям в области цифровой трансформации экономики, автоматизации технологических процессов предприятий высокой культуры производства и повышению внимания к управлению качеством в системе техносферной безопасности, повлиявшим на улучшение условий и охрану труда на промышленных предприятиях, составляющих крупную отрасль российской экономики, отмечается значительный спад профессиональных заболеваний, случаев производственного травматизма, в том числе со смертельным исходом.

На рисунке 2 продемонстрированы показатели, характеризующиеся изменением количества аварий и несчастных случаев со смертельным исходом, происшедших на ОПО в период с 2011 по 2020 годы.

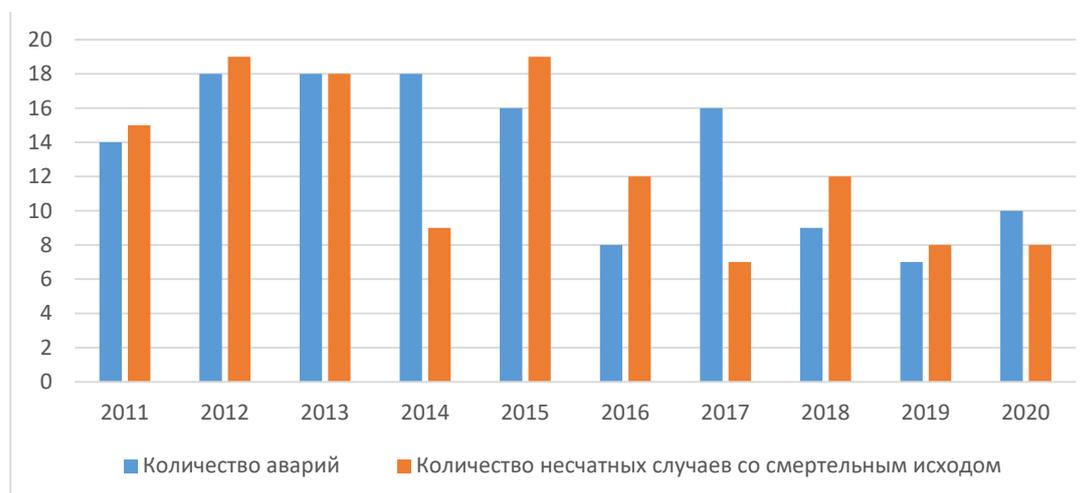


Рис. 2. Динамика снижения аварий и несчастных случаев, в том числе со смертельным исходом на ОПО

Травмирующие факторы, в результате которых произошли смертельные случаи, в ходе расследования определены следующие:

- термическое воздействие;
- падение с высоты;
- действие токсичных веществ;
- недостаток кислорода;
- действие взрывной волны;
- разрушение технического устройства;
- нарушение ведения технологического процесса.

Анализ причин показывает, что большее количество аварий и несчастных случаев произошло в результате:

- отсутствия производственного контроля;
- низкого качества технического обслуживания буровых установок;
- нарушения режима труда и отдыха работников;
- нарушения технологического процесса и др.

В исследуемой проблематике динамического снижения уровня производственного травматизма в течение предыдущего десятилетия, центральной остается проблема значимости роли работника в системе «человек-машина-среда», как оператора данной системы, осуществляющего трудовую деятельность, основу которой составляет взаимодействие с объектом воздействия, машиной и средой на рабочем месте при использовании информационной модели и органов управления [3].

Определение понятия человеческого фактора многокритериально, так как человек в системе «человек-машина-среда» является активным участником процесса действия и динамики системы, исходя из этого безопасность жизнедеятельности человека-оператора рассматривается как функционирование субъекта в данной системе с выявлением ошибочных решений в конкретных ситуациях.

В качестве системных критериев решения сложных задач применяются следующие параметры для оценки вероятности ошибочных действий работников: сложность объекта, вид объекта, целесообразность действий и мажоритарность объекта, выраженная в способах его эксплуатации.

В зависимости от ряда причин, влияющих на уровень работоспособности и качество выполняемой деятельности, выделим в таблице 1 главные параметры работоспособности человека и их показатели, характеризующие человеческий фактор.

Параметры и показатели, оказывающие влияние на работоспособность человека-оператора, характеризующие человеческий фактор

Параметры	Показатели	
Уровень работоспособности	Состояние здоровья	Физическое состояние
		Функциональное состояние
	Психическое состояние	
Качество деятельности оператора	Руководство деятельностью	
	Организационная деятельности	

Исходя из данного перечня параметров работоспособности и утомляемости оператора, есть вероятность совершения ошибочных действий работником, особенно если уровень решаемых задач различной сложности и существуют проблемы, возникающие при взаимодействии человека с технологическим оборудованием.

Выделим следующие причины, при которых возможно совершение ошибочных действий человека-оператора:

- недостаточность информационного обеспечения;
- влияние внешних факторов;
- психофизиологическое состояние работника;
- низкий уровень компетентности работника в сфере принятия решений.

Психологическое состояние работника может привести к отсутствию полной уверенности в правильности выполнения работы, что приводит к эмоциональной напряженности. Эмоциональная напряженность выражается в чрезмерном волнении, перевозбуждении или заторможенности в поведении. Важными являются такие характеристики как стрессоустойчивость, дисциплина, нравственность, умение адаптироваться и способность к точному восприятию информации в напряженной ситуации.

Согласно анализу классификатора видов несчастных случаев на производстве, случаев производственного травматизма и профессиональных заболеваний, а также современным исследованиям, основной причиной несчастных случаев на производстве назван человеческий фактор. В связи с этим определены причины производственного травматизма:

- нарушения трудовой и технологической дисциплины;
- неудовлетворительная организация производства работ;
- недостаточный контроль работающих;
- личная неосторожность пострадавших;
- низкий уровень профессиональной подготовленности работников;
- неприменение средств индивидуальной и коллективной защиты;
- нарушение требований инструкций по охране труда [4].

Существенное влияние на совершение трудовых функций безошибочно оказывают внутренняя мотивация и мотивация компетентности. Однако, нарушение мотивационной составляющей в процессе трудовой деятельности работника так же проявляется в несоблюдении требований безопасности труда. Нарушение может быть относительно постоянным (в том случае, если человек-оператор недостаточно оценивает степень опасности) и временным (если работник находится в неблагоприятном или недопустимом психофизиологическом состоянии).

Несоблюдение ориентировочной части действий проявляется в нарушении как со стороны руководителей организации выраженной в предоставлении допуска к работе без надлежащего обучения и проверки знания требований охраны труда, безопасных методов и приемов выполнения работ, так и со стороны части работников организации, халатно относящихся к ознакомлению с инструкциями, правилами выполнения работ, и должностными обязанностями.

Нарушение исполнительской части возможно вследствие несоответствия психических и физических возможностей человека установленным требованиям выполняемой работы. Такое несоответствие, как и в случае с нарушением мотивационной части действий, может быть постоянным (недостаточная координация, плохая концентрация внимания, несоответствие роста габаритам обслуживаемого оборудования и т.д.) и временным (переутомление, понижение трудоспособности).

В исследованиях, касающихся оценки влияния человеческого фактора на безопасность труда также предложены следующие формулировки для определения понятия человеческого фактора:

характеристики человека (или группы людей) и машин (или технических систем), проявляющихся в конкретных условиях их взаимодействия в системе «человек-машина», функционирование которой определяется достижением поставленной цели;

интегральные характеристики связи человека и технического устройства, обнаруживающиеся в конкретных условиях их взаимодействия при функционировании эргатической системы;

психологические, физиологические, антропометрические и другие характеристики человека, его возможности и ограничения, которые определяются в конкретных условиях их взаимодействия с объектом управления [5].

Особое научно-теоретическое значение для анализа понятия человеческого фактора имеют положения исследовательских работ Л. Кайдалова в вопросах предупреждения авиационных происшествий для профессий летчиков.

Под человеческим фактором в авиации следует понимать условия, причины возникновения ошибочных действий пилота (летных экипажей, лиц связанных с обеспечением и обслуживанием полетов) в его (их) взаимодействии с авиационной техникой, вызванные эргономическим несовершенством техники и несоответствием психофизиологическим возможностям пилота (указанных лиц).

Вопросы, касающиеся феномена человеческого фактора нашли объяснение в работах направления психологии профессиональной пригодности, в которых в дополнение определены следующие фазы оперативных действий и виды ошибок, совершаемых на соответствующей стадии оперативных действий:

- при сборе информации;
- оценки ситуации;
- принятие решений;
- реализации программы [6].

Авторами предложена к рассмотрению модель формирования технологических нарушений, которая включает в себя: физическое и психическое состояние работника; условия труда; обеспечение исправным оборудованием; организацию безошибочной деятельности, что вследствие может привести к двум исходам: с одной стороны — к результату безаварийности, с другой — к возникновению аварийной ситуации.

В качестве используемых методов выявления персонала при осуществлении оперативных действий в процессе управления техническими средствами на рабочем месте, создающих условия для обеспечения его работоспособного состояния и сохранения здоровья, рассмотрим ошибки персонала трех уровней значимости:

Ошибки первого уровня – прямые ошибки – неправильная ориентация в расположении оборудования или органов управления (случайные, непреднамеренные отклонения от требований нормативных документов).

Ошибки второго уровня – ошибки в оперативных решениях, вызванные неправильным пониманием ситуации (недостатки в подготовки персонала или умышленные отступления от требований нормативных документов).

Ошибки третьего уровня – ошибки, совершаемые неожиданно, часто по психологическим причинам, подмена норм или порядка действий [7].

В. Девисилон в своих исследованиях рассматривает человеческий фактор как особенность психического состояния работника, психические свойства личности и психическое состояние человека. Основные свойства человека, влияющие на безопасность – это характер и темперамент. Автор предлагает выделить следующие психические процессы, определяющие безопасность человека:

- память;
- внимание;
- восприятие;
- мышление;
- чувства (чувствительный тон);
- эмоции (состояние аффекта);
- настроение;
- воля.

Нельзя не заметить, что при кажущейся многоаспектности и обширности исследований многие свойства и механизмы требуют дополнительного рассмотрения.

Исходя из тезисов об определении человеческого фактора, отметим, человеческий фактор – это первоначально наличие необходимых профессиональных знаний, навыков, и состояния психических функций, которые обуславливают его способность осуществлять определенную деятельность с заданным качеством, и исходя из профессиональной подготовленности оператора системы «человек-машина-среда», незнание может явиться причиной несчастных случаев и аварий на производстве.

На примере физических и психических качеств работника противопожарной службы рассмотрим их значимость при выполнении профессиональных задач в зависимости от их специфики. Работник противопожарной службы должен обладать следующими характеристиками:

- смелость;
- способность брать на себя ответственность в сложных ситуациях;
- уверенность в себе;
- способность принимать правильное решение при недостатке необходимой информации, при отсутствии времени на ее осмысление;
- способность объективно оценивать свои силы и возможности;
- способность к длительному сохранению высокой активности;
- умение распределять внимание при выполнении нескольких действий, функций, задач;
- уравновешенность, самообладание при конфликтах;
- способность к быстрому установлению контактов с новыми людьми;
- способность располагать к себе людей, вызывать у них доверие;
- способность найти нужный тон, целесообразную форму общения в зависимости от психологического состояния и индивидуальных особенностей собеседника;
- склонность к риску [9].

Перечисленные характеристики оказывают влияние на формирование и развитие необходимых профессиональных качеств, динамику которых можно выявить в результате тестирования при приеме на работу, а также в ходе первичного, периодического и внепланового обучения.

Особое значение в диагностике человеческого фактора, психического состояния человека-оператора в процессе его профессиональной деятельности и построении межличностных отношений в трудовом коллективе уделяется в социальной психологии, а именно в психологии управления. Одним из важных результатов деятельности трудового коллектива является социально-психологический климат. Он в свою очередь представляет собой полифункциональное социально-психологическое образование, влияние которого на психофизиологическое состояние каждого работника индивидуально и всю группу в целом также высоко [10].

Исследования социально-психологического климата проводятся в большей степени для работников операторских групп. В течение исследования рассматривается только определенная, достаточно узкая совокупность

профессионально-важных качеств работника, необходимых для выполнения конкретного вида профессиональной деятельности, и это: физиологические или психосоциальные характеристики человека и его профессиональная компетентность. Для оптимизации управляемых человеком систем, в целях повышения безопасности труда, используются результаты исследований в областях психологии, физиологии, гигиены, социологии, культурологии, технических и инженерных дисциплин. Соответственно, решение данной проблемы возможно только на основе комплексного, системного подхода, учитывающего все этапы взаимодействия работника и работодателя [11].

Интеллектуальные и физические навыки, приобретенные в течение подготовки специалиста к выполнению его трудовых функций, и что не мало важно, структурно-функциональные особенности человека, психологическая и физиологическая подготовленность его к конкретной деятельности, служат отправной точкой на пути эффективного достижения профессиональных целей.

Заключение. Результаты проведенного анализа позволяют сделать следующие выводы.

Высокий уровень квалификации оператора подразумевает непрерывное развитие его знаний, умений и навыков. Изучение передового отечественного и зарубежного опыта в области технологии производства, разработка и принятие участия в реализации мероприятий по повышению эффективности производства оказывают положительное влияние на формирование мотивации операторов к безаварийной работе за счет профессионального совершенствования и качества выполняемых должностных обязанностей.

Целесообразные действия квалифицированных работников организации способны сосредоточить ресурсы производства, в повышении роста прибыли, сокращении простоя за счет безаварийной работы.

Концепция нулевого травматизма, как качественного подхода к обеспечению безопасности, включающая в себя безопасность, гигиену труда и благополучие работников на всех уровнях производства реализуема, но без личной заинтересованности каждого участника трудового процесса не будет достижимым результатом — сохранение жизни и здоровья личности и общества.

Кроме того, выявленные психо-физиологические факторы человека — оператора в системе человек-машина-среда, могут служить отправной точкой при построении концептуальной модели человека-оператора и последующей цифровой трансформации системы управления безопасностью труда на предприятии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно-го проекта № МФИ-20.1/56.

Список литературы

1. Якунькина О.В., Новиков В.В., Левчук А.А. О повышении мотивации личностного потенциала работника-оператора в процессе обучения персонала по охране труда // Научный потенциал вуза – производству и образованию / III Международная научно-практическая конференция, посвященная 75-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг. 2020.
2. Новиков В.В. Теоретические основы качественной (интегральной или обобщенной) оценки состояния бт на предприятиях с использованием квалиметрических методов / В Новиков В.В., Литвинов А.Е., Дудкин М.В., Стягун Д.И. // В сборнике: Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. Краснодар, 2022. С. 259-265.
3. Solod S.A. Structuring information on the state of labor safety at mechanical engineering enterprises / Solod S.A., Novikov V.V., Litvinov A.E., Chukarin A.N. // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. "International Scientific and Practical Conference Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering, ERSME 2020" 2020. С. 012112.
4. Finochenko, T. Risk Management in Transportation Safety System/ Finochenko, T., Yizkov, I, Dergacheva, L // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 2, с. 144-145 (2021). doi:10.1088/1755-1315/666/2/022050
5. Borisova, A.V. The Use of the Expert Method in Solving the Issues of Choosing the Instrumentation of the Procedure for Controlling Production Factors/ Borisova, A.V., Finochenko, T.A., Finochenko, V.A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing ([Bristol, UK], England), Volume 666 № 2, 2021, doi:10.1088/1755-1315/666/2/ 022022. doi:10.1088/1755-1315/666/2/ 022022
6. Новиков В.В. Управление персоналом на предприятиях машиностроения с применением процессного подхода / Новиков В.В., Согомоян Т.К., Солод С.А. // Главный механик. 2019. № 7. С. 55-62.
7. Согомоян Т.К. Улучшение состояния промышленной безопасности посредством применения процессного подхода/ Согомоян Т.К., Солод С.А., Солод А. А. // Технические науки - от теории к практике // Сборник статей по материалам XLVI Международной научно-практической конференции. - Новосибирск: Изд. «СибАК», 2015. - №5 (42). - С. 87-91.
8. Согомоян Т.К. Процессный подход к информатизации управленческой деятельности промышленного предприятия./ Согомоян Т.К., Солод С.А. // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная. Материалы IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 85-летию БГИТА (Брянск, 3-5 июня 2015 г.). - Брянск, Изд-во БГИТА, 2015. - 372 с. С. 351-356. - 978-5-98573-183-5. ISBN: 978-5-98573-183-5 EDN: WOKGUN
9. Матушанский Г.У., Завада Г.В. Казанский гос.энергетический университет. Журнал Проблемы энергетики, 2015 , № 3. Роль человеческого фактора в предотвращении травматизма на предприятиях энергосистем
10. Завьялов А.М. Повышение безопасности труда на железнодорожном транспорте на основе снижения влияния человеческого фактора 05.26.01 – Охрана труда (транспорт), диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук
11. Новиков В.В., Якунькина О.В. Основы формирования профессионального мышления, Сборник материалов X Международной научно-практической конференции «Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков» (шифр –МКРНП) 25.04.2022г., г. Москва

Новиков Валерий Владимирович, д-р техн. наук, профессор, novikov.v.v@mail.ru, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет,

Бажина Татьяна Петровна, канд. техн. наук, доцент, via@rgups.ru, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет,

Литвинов Артем Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор, artstyleone@mail.ru, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет,

Якунькина Олеся Владимировна, аспирант, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет

PSYCHO-PHYSIOLOGICAL FACTORS OF A HUMAN OPERATOR IN THE MAN-MACHINE-ENVIRONMENT SYSTEM WHEN BUILDING A CONCEPTUAL MODEL OF A HUMAN OPERATOR AND THE SUBSEQUENT DIGITAL TRANSFORMATION

V.V. Novikov, T.P. Bazhina, A.E. Litvinov, O.V. Yakunkinan

The key responsibility of an employee of an organization is to comply with labor protection requirements, which in turn serves as the basis for accident-free work or reduces the likelihood of an accident. The selection of professionally trained workers, whose specific work is related to a source of increased danger, guarantees minimization of potential downtime in the event of unforeseen circumstances. The scope of scientific research into the professional preparedness of workers, whose competence is determined by the ability to carry out certain activities with a given quality in conditions of performing dangerous, harmful work and work that requires increased attention, quick reaction and high responsibility, is diverse and has received coverage in a number of scientific areas. So, from the point of view of noxology, the subject of which is the "person-danger" system, a person of a safe type should be distinguished by a certain level of psychological stability and readiness to act in various life situations. The psychological readiness of a person of a safe type is explained by the anticipation of dangers, the awareness of opportunities to avoid dangers; the ability to overcome danger.

Key words: digital transformation, digitalization, occupational safety, labor protection, psychophysiological parameters, operator, mechanical engineering.

Novikov Valery Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, novikov_v.v@mail.ru, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University,

Bazhina Tatyana Petrovna, candidate of technical sciences, docent, via@rgups.ru, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University,

Litvinov Artyom Evgenievich, doctor of technical sciences, professor, artstyleone@mail.ru, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University,

Yakunkina Olesya Vladimirovna, postgraduate, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University

УДК 69.059.1

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-122-123

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ В ТЕКУЩЕМ РЕМОНТЕ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Р.А. Ситков, С.И. Богомолов, В.Н. Щельников

В статье рассмотрены вопросы выбора зданий (сооружений) для первоочередного выполнения текущего ремонта в условиях наличия лимита бюджетных обязательств. Приведены признаки, на основе которых определяется приоритетность зданий (сооружений) для выполнения мероприятий по их текущему ремонту. Установлены количественные критерии, позволяющие отнести здание (сооружение) к тому или иному уровню приоритетности. Произведена количественная оценка критичности дефектов. На основе нормированных оценок приоритетности зданий (сооружений) и критичности дефектов получена ранговая оценка приоритетности устранения дефектов.

Ключевые слова: здания (сооружения), эксплуатационное содержание, текущий ремонт, методика ранжирования, дефект.

В настоящее время объем средств, выделяемых на эксплуатационное содержание (ЭС) и текущий ремонт (ТР) зданий и сооружений (ЗиС) объектов наземной космической инфраструктуры (ОНКИ), не позволяет в полном объеме осуществлять все необходимые мероприятия. В этой связи остро встает вопрос о рациональном расходовании средств, которые выделяются на эти цели. Этот вопрос в каждом конкретном случае решается по-своему в зависимости от наличных условий, а также от квалификации лиц, принимающих соответствующее решение (ЛПР). В силу данных обстоятельств качество принимаемых решений сильно варьируется от случая к случаю. Приходится констатировать, что не всегда имеющиеся средства расходуются на действительно приоритетные задачи, часто имеет место ситуация, когда приоритет в ремонте отдается более заметным и менее критичным дефектам ЗиС в ущерб менее заметным, но более критичным дефектам. В этой связи актуальной является разработка методики, которая позволяла бы формализовать процедуру принятия решения по выбору дефектов для первоочередного устранения. Внедрение такой методики позволило бы повысить эффективность использования средств, выделяемых на выполнение мероприятий по ЭС и ТР ЗиС ОНКИ.

В статье представлен один из возможных вариантов решения данной задачи, в его основе лежит метод ранжирования:

- ЗиС по уровню приоритетности;
- дефектов по уровню критичности.

Основным принципом, реализуемым при проведении мероприятий ТР, является:

- первоочередной ремонт наиболее приоритетных ЗиС;
- устранение наиболее критичных дефектов.

Ранжирование ЗиС по уровню приоритетности осуществляется на основе положений ряда нормативных документов [1, 2, 3], а также на основе особенностей использования ЗиС. Для ранжирования ЗиС введены признаки приоритетности ЗиС (таблица 1), каждому из которых соответствует ряд оценок в баллах.

Таблица 1

Признаки приоритетности ЗиС

№ п/п	Признак приоритетности ЗиС	Градации признака	Баллы	Примечания
1.	Опасность	1 класс	4	Определяется в соответствии с [1]
		2 класс	3	
		3 класс	2	
		4 класс	1	
		не опасное	0	
2.	Уникальность	обычный	0	Определяется в соответствии с [2]
		уникальный	2	
3.	Режим пребывания персонала, чел.	постоянный до 10 чел	2	По фактическому состоянию
		пост. от 10 до 100 чел	3	
		пост. более 100 чел	4	
		временный до 10 чел	1	
		вр. от 10 до 100 чел	2	
		вр. более 100 чел	3	
4.	Строительный объем, м.куб.	без пребывания	0	Паспорт ЗиС
		до 100	0	
		от 100 до 1000	1	
		от 1000 до 10000	2	
5.	Коммунальное сооружение	от 10000 до 50000	3	Паспорт ЗиС
		более 50000	4	
		да	2	
		нет	0	

Уровень приоритетности ЗиС определяется общей суммой баллов, присвоенных ему по совокупности всех рассмотренных признаков в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Уровни приоритетности ЗиС

№ п/п	Уровни приоритетности ЗиС	Баллы
1	Высокий	более 9
2	Повышенный	от 6 до 8
3	Обычный	от 3 до 5
4	Пониженный	до 2

Качественные оценки уровней приоритетности ЗиС переведены в количественные посредством нормирования по формуле (1). Полученные таким образом оценки представлены в таблице 3.

$$K_{ЗиСin} = \frac{K_{ЗиСi}}{\sum_1^i K_{ЗиСi}}, \quad (1)$$

где $K_{ЗиСi}$ – оценка приоритета ЗиС в баллах.

Таблица 3

Оценки уровня приоритетности ЗиС

Качественная оценка уровня приоритетности ЗиС	Количественная оценка уровня приоритетности ЗиС	
	Балльная $K_{ЗиСi}$	Нормированная $K_{ЗиСin}$
Высокий	4	0,4
Повышенный	3	0,3
Обычный	2	0,2
Пониженный	1	0,1
Σ	10	1

Аналогичным образом для дефектов на основании [4] установлены их уровни критичности (формула 2, таблица 4).

$$K_{Дjn} = \frac{K_{Дj}}{\sum_1^j K_{Дj}}, \quad (2)$$

где $K_{Дj}$ – оценка критичности дефекта в баллах.

Отметим, что для строительных конструкций по [5] дефект – это несоответствие конструкции какому-либо параметру, установленному проектом или нормативной документацией.

Критический дефект – дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо.

Значительный дефект – дефект, который существенно влияет на использование продукции по назначению и (или) на ее долговечность, но не является критическим.

Малозначительный дефект – дефект, который существенно не влияет на использование продукции по назначению и ее долговечность.

Под продукцией при этом понимается любой конструктивный строительный элемент ЗиС: кирпич, балка, деревянный настил, стена, плита перекрытия, крыша, кровля, фундамент, пол и т.д.

Необходимо отметить, что дефекты, помимо разделения их по степени критичности, разделены также по виду ремонта (текущий или капитальный), в ходе которого они должны быть устранены.

Дефекты, устраняемые при проведении капитального ремонта или реконструкции выходят за рамки ТР ЗиС поэтому здесь не рассматриваются. Перечень дефектов, устраняемых в ходе ТР, достаточно объем и привести его весь в рамках статьи не представляется возможным, поэтому в иллюстративных целях представлен фрагмент перечня (таблица 5).

Таблица 4

Оценки уровня критичности дефектов

Качественная оценка уровня критичности дефекта	Количественная оценка уровня критичности дефекта	
	Балльная $K_{ЗиСi}$	Нормированная $K_{ЗиСiн}$
Критический	3	0,50
Значительный	2	0,33
Малозначительный	1	0,17
Σ	6	1

Таблица 5

Перечень типовых дефектов ЗиС, устраняемых при проведении текущего ремонта

Описание дефекта, количественные показатели	Значимость дефекта
Фундаменты столбчатые каменные с кирпичным цоколем	
Мелкие повреждения цокольной части – трещины, местные выбоины. Повреждения на площади до 5%	Малозначительный
...	...
Стены деревянные каркасные	
Штукатурка выкрошилась местами, отдельные доски покороблены и повреждены, нижние доски поражены гнилью. Повреждения на площади до 20%.	Малозначительный
Обшивка покоробилась, растрескалась и местами отстала, штукатурка отпала. Повреждения на площади до 40%.	Значительный
...	...

Уровень приоритетности устранения дефектов определяется путём перемножения нормированной оценки важности ЗиС на нормированную оценку критичности дефекта по формуле (3), полученные таким образом оценки представлены в таблице 6.

$$K_{ДЗиСк} = K_{ЗиСiн} \cdot K_{Дjn}, \quad (3)$$

где $K_{ЗиСi}$ – нормированная оценка приоритета ЗиС; $K_{Дjn}$ – нормированная оценка критичности дефекта.

Результат такого перемножения представлен в таблице 6.

Таблица 6

Количественная оценка приоритетности устранения дефектов ЗиС

Оценка уровня приоритетности ЗиС		Нормированная оценка критичности дефекта		
Качественная	Нормир.	Крит.	Знач.	Малознач.
Высокий	0,4	0,20	0,13	0,07
Повышенный	0,3	0,15	0,10	0,05
Обычный	0,2	0,10	0,07	0,03
Пониженный	0,1	0,05	0,03	0,02

Для удобства восприятия количественные оценки переведены в ранги с помощью функции (РАНГ.РВ) программной среды Excel, при этом первый ранг присваивается дефекту с наибольшей оценкой приоритетности устранения, а максимальный дефекту – с наименьшей оценкой (таблица 7).

Таблица 7

Ранговая оценка приоритетности устранения дефектов ЗиС полученная с использованием функции (РАНГ.РВ) программной среды Excel

Оценка уровня приоритетности ЗиС	Оценка критичности дефекта		
	Критический	Значительный	Малозначительный
Высокий	1	3	6
Повышенный	2	5	9
Обычный	4	6	10
Пониженный	8	10	12

Из таблицы видно, что имеет место ряд одинаковых рангов. Для однозначности трактовки и исходя из принципа первоочередного устранения наиболее критичных дефектов полученный результат преобразован к виду, представленному в таблице 8.

Таблица 8

Оценка уровня приоритетности ЗиС	Оценка критичности дефекта		
	Критический	Значительный	Малозначительный
Высокий	1	3	7
Повышенный	2	5	9
Обычный	4	6	11
Пониженный	8	10	12

Использование разработанной методики осуществляется в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 1.

Этап 1. На данном этапе выполняется ранжирование всех ЗиС объекта по их приоритетности с точки зрения выполнения мероприятий ЭС и ТР. Ранжирование ЗиС производится в соответствии с признаками, приведёнными с таблице 1, ранг ЗиС присваивается в зависимости от набранного количества баллов по таблице 2. Данный этап выполняется один раз, в дальнейшем происходит только его уточнение при строительстве новых или списании имеющихся ЗиС.

Этап 2. Проведение осмотра ЗиС (планового или внепланового).

Этап 3. Формирование ведомости дефектов ЗиС по результатам проведённого осмотра.

Этап 4. Оценка дефектов по приоритетности их устранения на основании приоритетности ЗиС (определяется по таблицам 2 и 3) и приоритетности устранения дефектов (таблица 9).

Этап 5. Формирование плана ТР.

Этап 6. Расчёт смет на ТР.

Этап 7. Формирование заявки на получение средств для выполнения мероприятий ТР.

Этап 8. Получение и оценка объёма средств на проведение ТР.

Этап 9. Выбор из ранжированного по приоритетности устранения перечня дефектов, общий объём затрат на устранение которых соответствует полученным средствам (понятно, что данные дефекты будут находиться в верхней части ранжированного списка).

Этап 10. Проведение ТР ЗиС, устранение намеченных дефектов.

В текущих условиях средства, выделяемые на проведение ТР недостаточны, а, значит, в полном объёме план ТР выполнен быть не может. Требуется научно-методический аппарат, позволяющий выделить те дефекты, которые должны быть устранены в первую очередь.

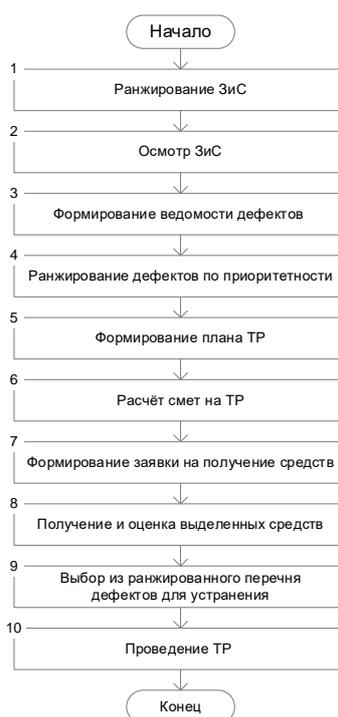


Рис. 1. Алгоритм определения приоритетов в ремонте

Таблица 9

Ранжированный по приоритетности устранения перечень дефектов ЗиС устраняемых в ходе ТР

№ п/п	Наименование ЗиС	Дефект			Стоимость работ, руб.
		Описание (из ведомости дефектов)	Критичность дефекта	Приоритет (по табл. 3)	
1	МИК	Массовая коррозия оконных коробок и переплетов, полное разрушение переплетов и коробок, физический износ 60-80%.	Критический	1	
2	Котельная	Деформация стен более 1/200 ее длины – у 20 панелей.	Критический	2	

3	МИК	Отслоение защитного слоя бетона в стеновых панелях в осях С-Д/5 на площади 2 м ² .	Значительный	3	
4	Котельная	Разрушение узлов крепления стеновых панелей в количестве 20 шт.	Значительный	5	
5	Котельная	Дверные полотна осели на 5 мм у 6 шт. в пристройке по оси А-Б/5.	Значительный	5	
6	МИК	Усадочные трещины, выбоины на фасадной стороне стеновых панелей на площади 10 м ² . Ширина трещин до 0,3 мм общей длиной 15 м.	Малозначительный	6	
7	МИК	Выбоины в фактурном слое наружных стеновых панелей по боковому фасаду на площади 18 м ² .	Малозначительный	6	
8	Трансформаторная	Разрушение рубероидного покрытия, глубокие трещины, вздутия на площади 70%.	Критический	8	
9	Котельная	Мелкие поверхностные трещины в местах сопряжения коробок дверей со стенами, щели в притворах до 3 мм у 5 дверей.	Малозначительный	9	
10	Котельная	Отставание штукатурного слоя стен площадью до 1 м ² на 5% площади поверхности всех стен.	Малозначительный	9	
11	Трансформаторная	Следы протечек на стенах внутри помещения №5а, высолы. Повреждения на площади 5 м ² .	Значительный	10	
12	Трансформаторная	Отдельные трещины и выбоины в кирпичных стенах. Ширина трещины до 1 мм, общая площадь 3 м ² .	Малозначительный	12	

Естественно, что предложенная методика ограниченно отражает реальность (например, она не рассматривает случаи аварийного ремонта), а, значит, не исчерпывает все возможные случаи. Тем не менее, в качестве первого шага для формирования ранжированного перечня дефектов, требующих первоочередного устранения, она представляется вполне применимой. Далее у ЛППР есть два варианта действий:

- уточнить предложенный перечень внося или исключая из него некоторые из дефектов, основываясь на соображениях, которые выходят за рамки методики;
- утвердить план ТР в исходном виде.

Таким образом, предложенная методика позволяет повысить эффективность использования бюджетных средств, выделяемых на ТР ЗИС ОНКИ.

Список литературы

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. Федеральный закон от 02.07.2013 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
3. Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс».
4. Классификатор основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов (утв. Главной инспекцией Госархстройнадзора РФ 17.11.1993).
5. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.

Ситков Роман Александрович, канд. техн. наук, начальник отдела, uka@mil.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Богомолов Сергей Иванович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Щельников Валерий Николаевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

METHODOLOGY FOR DETERMINING PRIORITIES IN THE CURRENT REPAIR OF GROUND-SPACE INFRASTRUCTURE FACILITIES

R.A. Sitkov, S.I. Bogomolov, V.N. Schelnikov

The article discusses the issues of selecting buildings and structures for the priority implementation of routine repairs in the presence of limit on budgetary obligations. The signs are given on the basis of which the priority of buildings (structures) is determined for the implementation of measures for their current repair. Quantitative criteria have been established that allow a building (structure) to be assigned to one or another level of priority. A quantitative assessment of the criticality of defects was made. Based on standardized assessments of the priority of buildings (structures) and the criticality of defects, a ranking assessment of eliminating defects obtained.

Key words: building (structure), operational maintenance, current repairs, ranking method, defect.

Sitkov Roman Aleksandrovich, candidate of technical sciences, head of group, vkao@mil.ru, Russia, Saint-Peterburg, Mozhaisky Military Aero Space Academy,

Bogomolov Sergey Ivanovic, candidate of technical sciences, senior researcher, Russia, Saint-Peterburg, Mozhaisky Military Aero Space Academy,

Valeriy Nikolaevich Shchelnikov, candidate of technical sciences, senior researcher, Russia, Saint-Peterburg, Mozhaisky Military Aero Space Academy

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ДЕЙКСТРЫ

А.О. Гюллинг, Н.В. Воронцова

Статья посвящена рассмотрению разработанного алгоритма и программы решения задачи визуализации алгоритма Дейкстры.

Ключевые слова: графы, визуализация, язык программирования C#, элемент WPF

Решается задача нахождения кратчайшего пути, при использовании алгоритма Дейкстры для каждой отдельно взятой вершины графа [1,2].

Алгоритм Дейкстры находит кратчайшие пути от одной из вершин графа до всех остальных. Алгоритм работает только для графов без рёбер отрицательного веса.

Формальное описание алгоритма выглядит следующим образом:

Дан взвешенный ориентированный граф $G(V,E)$ без рёбер отрицательного веса. Найти кратчайшие пути от некоторой вершины A графа G до всех остальных вершин этого графа.

Каждой вершине из V сопоставим метку — минимальное известное расстояние от этой вершины до A . Алгоритм работает пошагово — на каждом шаге он «посещает» одну вершину и пытается уменьшать метки. Работа алгоритма завершается, когда все вершины посещены [3].

Инициализация – метка самой вершины A полагается равной 0, метки остальных вершин — бесконечности. Это отражает то, что расстояния от A до других вершин пока неизвестны. Все вершины графа помечаются как не являющиеся посещёнными.

Шаг алгоритма – если все вершины посещены, алгоритм завершается. В противном случае, из ещё не посещённых вершин выбирается вершина U , имеющая минимальную метку. Мы рассматриваем всевозможные маршруты, в которых U является предпоследним пунктом. Вершины, в которые ведут рёбра из U , назовём соседями этой вершины. Для каждого соседа вершины U , кроме отмеченных как посещённые, рассмотрим новую длину пути, равную сумме значений текущей метки U и длины ребра, соединяющего U с этим соседом. Если полученное значение длины меньше значения метки соседа, заменим значение метки полученным значением длины. Рассмотрев всех соседей, пометим вершину U как посещённую и повторим шаг алгоритма.

Алгоритм Дейкстры достаточно прост в реализации. Под конец его работы все вершины должны быть помечены бирками с минимальным расстоянием до них из первоначальной вершины. Первоначальная вершина, что логично, должна выбираться самим пользователем.

В программной реализации большую роль сыграет тип данных `List`, используемый в `C#`. Это строго типизированный список объектов, позволяющий удалять или добавлять элементы, и обращаться к ним по индексу. Это упростит задачу для составления «подграфа» с уже посещёнными вершинами, а также упростит способ проверки вершины на её фактическую принадлежность посещённым вершинам.

Ниже демонстрируется непосредственно программный код алгоритма Дейкстры, используемый в программе-прототипе с пояснениями в виде комментариев [4,5]:

```
public int[] GetShortPatch(int vertex_swopped) { /*Выполнение алгоритма Дейкстры*/
    vertex_swopped--;
    int min;
    var index_min = 0;
    var short_path_vertex = new int[Size]; //Индекс - порядковый номер вершины, содержимое - подсчитанное расстояние
    for (int i = 0; i < Size; i++) {
        short_path_vertex[i] = int.MaxValue; //Устанавливаем бесконечно большое число, чтобы пометить вершины как непосещённые
    }
    short_path_vertex[vertex_swopped] = 0; //Начальную вершину указываем с оптимальным маршрутом равным 0
    var list_checked_vertex = new List<int>(); //Список уже посещённых вершин
    list_checked_vertex.Add(vertex_swopped); //Добавляем стартовую вершину, для которой надо найти все кратчайшие пути
    while (list_checked_vertex.Count != Size) { //Работа алгоритма до тех пор, пока все вершины не будут посещены
        min = int.MaxValue;
        for (int i = 0; i < list_checked_vertex.Count; i++) { //Перебор посещённых вершин с целью найти кратчайшие пути к неизвестным вершинам
            for (int j = 0; j < Size; j++) { //Перебор расстояний отдельно взятой посещённой вершины
                /*Не входит ли рассматриваемая вершина в уже посещённый список*/
                if (!list_checked_vertex.Contains(j) && Matrix[list_checked_vertex[i], j] != 0) { /*Перепись кратчайшего пути к еще не посещённым вершинам*/
                    if (short_path_vertex[list_checked_vertex[i]] + Matrix[list_checked_vertex[i], j] < short_path_vertex[j]) {
                        short_path_vertex[j] = short_path_vertex[list_checked_vertex[i]] + Matrix[list_checked_vertex[i], j];
                    }
                }
            }
            /*Подборка минимального пути, ведущего к вершине, которую надо будет добавить следующей в список посещённых*/
            if (min > short_path_vertex[j]) {
```

```

        min = short_path_vertex[j];
        index_min = j;
    } } } }
    list_checked_vertex.Add(index_min);//Добавляем вершину, к которой ведет минимальный путь
    }
    return short_path_vertex;
}

```

Данная реализация алгоритма была протестирована и успешно работает. Однако, фактическая её ценность будет лишь после интегрирования полученного ответа в методы отрисовки конечного графа. Необходимо провести приготовления в блок программы класса GraphVisible, отвечающего за визуализацию. Так как главной ценностью полученных результатов является стоимость маршрута, распределенная по вершинам графа [6].

Задачей кратчайшего пути, будет ввод пользователем в специальное окно номера вершины, расстояние до которой нужно будет просчитать, показано на рис. 1.

Рис. 1. Новый блок входных данных в программе

Проверка входных данных матрицы смежности на связность будет использоваться – специально написанной рекурсивной функцией для поиска в глубину графа. Код функции и её вспомогательной функции приведён для наглядности ниже [7,8]:

```

public bool Graph_Connec_Chek() {
    /*Проверка графа на связность для исполнения алгоритма минимального остовного дерева, кратчайшего пути и коммивояжера*/
    var list_vert = new List<int>();
    list_vert.Add(0);
    Graph_Connec_Chek_Rec(ref list_vert, 0);
    if (list_vert.Count == Size) {
        return true;
    }
    return false;
}

private void Graph_Connec_Chek_Rec(ref List<int> list_vert, int i) {
    /*Рекурсивный алгоритм проверки на связность*/
    for (int j = 0; j < Size; j++) {
        if (Matrix[i, j] > 0) {
            if (!list_vert.Contains(j)) {
                list_vert.Add(j);
                if (list_vert.Count != Size) {
                    Graph_Connec_Chek_Rec(ref list_vert, j);
                } } } }
    }
}

```

Поскольку защита от ввода ошибочных данных в программе почти полностью реализована в виде предупреждения ошибок – пользователю просто не покажется кнопка отрисовки графа в случае ввода неверных данных, то данная методика должна распространяться и на новые входные данные. Данные изменения также необходимо зафиксировать в коде программы [9]:

```

private void AlgorithmComboBox_SelectionChanged(object sender, SelectionChangedEventArgs e) {
    /*Событие, которое рандомизирует граф во время переключения алгоритма, если рандом был включен, регулирует видимость кнопки выбора вершины алгоритма Дейкстры, а также корректирует отображение главной кнопки построения графа в случае выбора алгоритма Дейкстры или прочих алгоритмов*/
    if (AlgorithmComboBox.SelectedIndex != 3) {
        vertex_Dijkstra_name.Visibility = Visibility.Hidden;
        vertex_box_Dijkstra.Visibility = Visibility.Hidden;
        var reg = new Regex(@"^[1-9]{1}[0-9]{0,1}$");
        if (reg.Match(vertex_box.Text).Success) {
            if (Convert.ToInt32(vertex_box.Text) <= 25 && Convert.ToInt32(vertex_box.Text) > 3) {
                start_but.Visibility = Visibility.Visible;
            } else {
                start_but.Visibility = Visibility.Hidden;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
  } else {
    var reg = new Regex(@"^[1-9]{1}[0-9]{0,1}$");
    if (reg.Match(vertex_box.Text).Success) {
      if (Convert.ToInt32(vertex_box.Text) <= 25 && Convert.ToInt32(vertex_box.Text) > 3) {
        vertex_Dijkstra_name.Visibility = Visibility.Visible;
        vertex_box_Dijkstra.Visibility = Visibility.Visible;
        vertex_box_Dijkstra_Checked();//Повторная проверка на отображение кнопки для запуска ал-
        горитма
      }
    }
  }
}
if (Input_randomize.IsChecked == true) {
  Input_randomize_Checked(sender, e);
}
}
}

```

При тестовом запуске прототипа программы необходимо убедиться в корректности написанной проверки на ошибки. Элемент WPF TextBox, в котором хранится указанная вершина, не должен влиять на работу других алгоритмов, и должен блокировать кнопку запуска построения графа в случае ввода некорректных данных непосредственно при выборе задачи о нахождении кратчайшего пути. Результат проверки виден на рис.2.

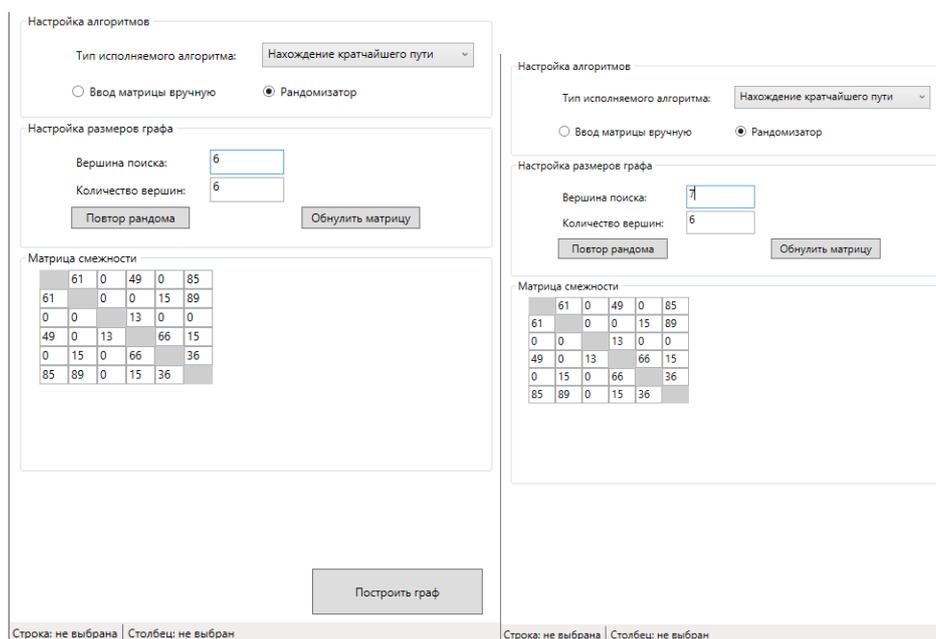


Рис. 2. Работоспособность проверки – кнопка не отображается при неверном вводе вершины

Как можно заметить, при вводе вершины, превосходящей размерность матрицы смежности, программа не отображает кнопку построения графа – т.е. фактически кнопку запуска решения задачи по алгоритму.

Реализация самого алгоритма Дейкстры в блоке программы, состоящем из вычислительного класса GraphCore.

Теперь, когда алгоритм был написан в виде программного кода, а в ходе его работы выдаются необходимые для решения задачи о кратчайшем пути данные, эти данные необходимо визуализировать, как и формальный разбор алгоритма на итерации [10].

Результирующие данные несколько специфичны для визуализации на графе – поскольку результат алгоритма – это подграф, расширяющийся в итоге до исходного графа, с подсчитанным расстоянием до каждой вершины, то непосредственно подсветки путей в результирующей отрисовке графа не будет – все пути уже были пройдены. Поэтому, в первую очередь необходимо добавить в метод отрисовки класса GraphVisible новые результирующие веса – расстояния до вершин от искомой вершины.

В программе-прототипе уже имеется элемент GroupBox – это блок, в котором расписана информация по выполненному алгоритму. Этот элемент показывается после нажатия кнопки «построить граф» и находится слева от визуализированных данных, как и аналогичный блок с разбором алгоритма на итерации. Необходимо добавить в блок об информации по выполненному алгоритму список вершин и расстояние до них.

Для этого подойдет такой элемент WPF, как ScrollView, потому как количество вершин у графа может быть большим, и такой текст не поместится в статичный контейнер, не способный регулировать свой размер. В ScrollView в свою очередь помещается контейнер StackPanel, который в автоматическом режиме будет укладывать все надписи с дистанцией вершин сверху-вниз. Свойство элемента ScrollView под названием VerticalScrollBarVisibility с выставленным параметром Auto позволит скрыть всю вложенную группу элементов, что делает её невидимой в результирующей выдаче других алгоритмов.

Ниже представлен фрагмент кода, отвечающий непосредственно за добавление в контейнер StackPanel результатов алгоритма:

```

var answer_path = Graph.GetShortPatch(Convert.ToInt32(vertex_box_Dijkstra.Text));
path_vertex_name.Children.Add(new Label {
    Content = "Нач. вершина " + Convert.ToInt32(vertex_box_Dijkstra.Text)
});
for (int i = 0; i < answer_path.Length; i++) {
    path_vertex_name.Children.Add(new Label {
        Content = "Вершина " + Convert.ToString(i + 1) + " = " + Convert.ToString(answer_path[i])
    });
}

```

Итак, текстовая информация о результатах выполнения алгоритма Дейкстры выведена пользователю – это базовый минимум, который приносит пользователю практическую пользу. Теперь необходимо отрисовать получившиеся «веса» вершин с дистанцией на самом графе. Добавим в класс отрисовки GraphVisible следующий метод, который затем вызовем в основном теле программы-прототипа:

```

public void Vertex_Redrawing(int[] answer_vertex) {
    //Перерисовка вершин в результате исполнения алгоритма Дейкстры
    for (int i = 0; i < Vertex_List.Count; i++) {
        var vertex_weight = new OutlinedText {
            Width = 25,
            Height = 25,
            FontSize = 20,
            HorizontalAlignment = HorizontalAlignment.Left,
            VerticalAlignment = VerticalAlignment.Top,
            Margin = new Thickness(VertexCoord[i].X + 6, VertexCoord[i].Y + 8, 0, 0),
            Text = Convert.ToString(answer_vertex[i]),
            Fill = Brushes.Yellow,
            Stroke = Brushes.Black,
            Bold = true,
            StrokeThickness = 1,
            AllowDrop = true,
        };
        Vertex_Weight_List.Add(vertex_weight);
        Panel.Children.Add(Vertex_Weight_List[i]);
    }
}

```

Затем, добавим получившийся массив надписей, расположенный рядом с вершинами, в приватный метод класса под названием MouseMove – этот метод отвечает непосредственно за функционирование переноса графа во время манипуляций пользователя с мышью. После этого, можно увидеть результат работ, представленный на изображении ниже. Как видно, теперь информация о решении отображается как в текстовом, так и в графическом виде на рис.3.

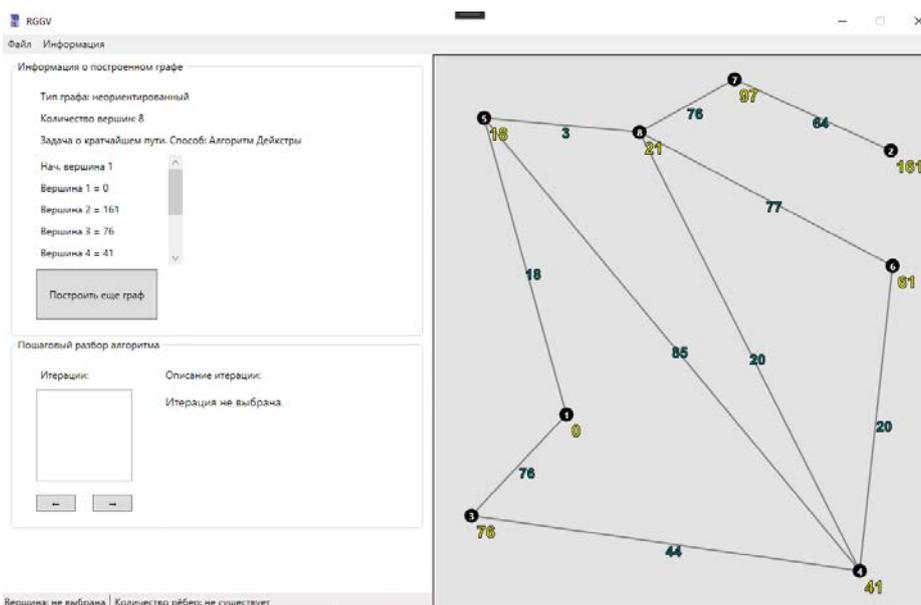


Рис. 3. Результат работы алгоритма Дейкстры с пронумерованными вершинами (справа) и их списком (слева)

Часть главной задачи решена, алгоритм визуализирован и продемонстрирован пользователю. Однако, ему не хватает подробностей – виден лишь результат. В этом поможет разбитие алгоритма на итерации, блок итерирования расположен под информацией об использованном алгоритме. Для реализации итерирования необходимо взять

искомый алгоритм Дейкстры с его исполнением в виде кода, и добавить туда дополнительные массивы данных, сохраняемые с каждой итерацией алгоритма – в данном случае, законченной итерацией вполне логично можно считать добавление вершины в подграф посещённых вершин.

Для реализации пошагового разбора алгоритма Дейкстры, необходимо сохранять отдельно каждую итерацию, и отправлять её в дочерний класс GraphCore, носящий название AlgorithmGraph. После чего все массивы поэтапных данных необходимо загрузить в блок пошагового разбора алгоритма, являющегося контейнером WPF под названием GroupBox. Отличие данного функционала от двух других алгоритмов заключается только в несколько большем количестве итераций и сохранении дополнительного массива путей вершин, ранее не существовавшего в классе AlgorithmGraph.

Также необходимо написать новый метод в класс GraphVisible, потому как при переключении итераций необходимо перекрашивать и переписывать веса вершин, которые могут меняться в процессе работы алгоритма. Бесконечный путь ранее не посещённой вершины будет именоваться как “INF” и окрашиваться в красный оттенок. Проведя все необходимые работы в коде, можно запустить программу и убедиться в работе итерационного модуля, что продемонстрировано на рис.4, 5, 6

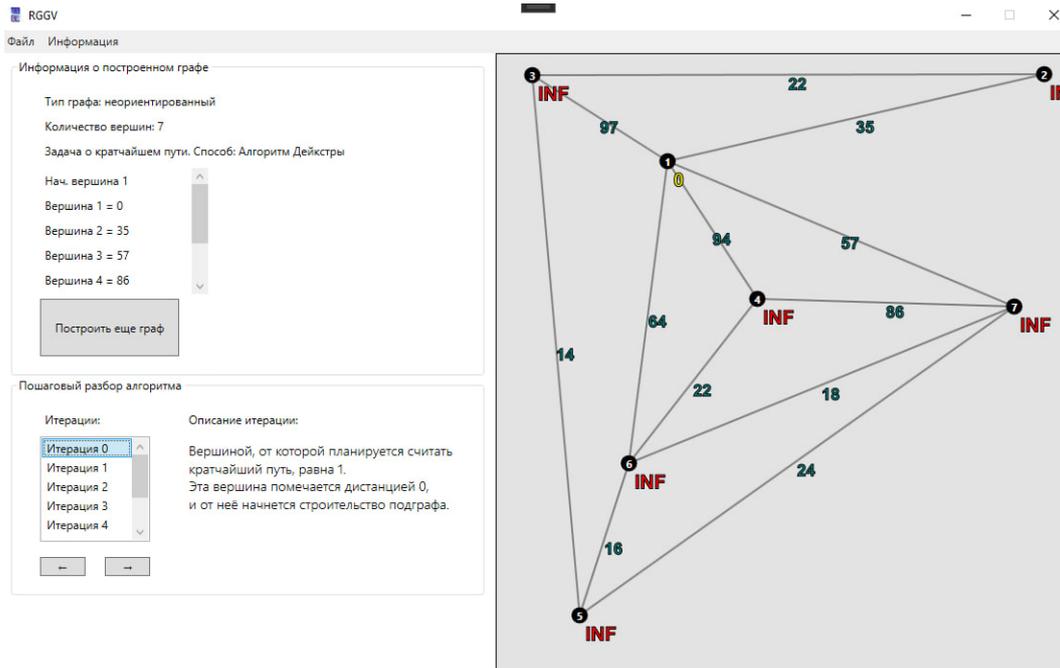


Рис. 3. Результат работы итерационного модуля, в котором заметен процесс вычисления путей вершин

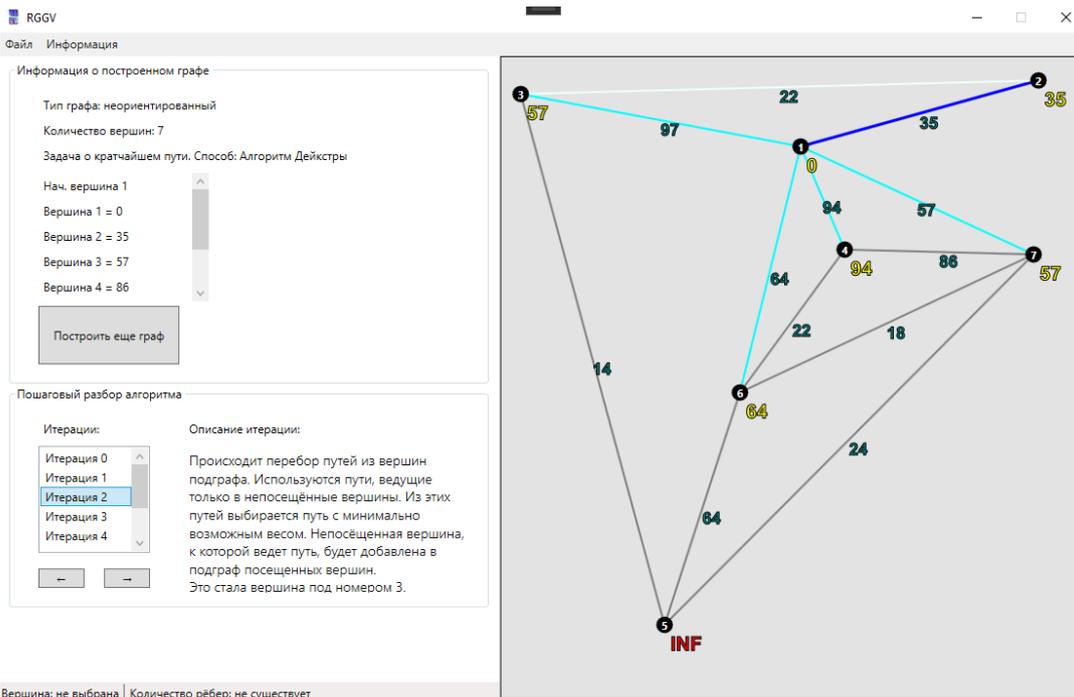


Рис. 4. Результат работы итерационного модуля, в котором заметен процесс вычисления путей вершин и перебора необходимых путей

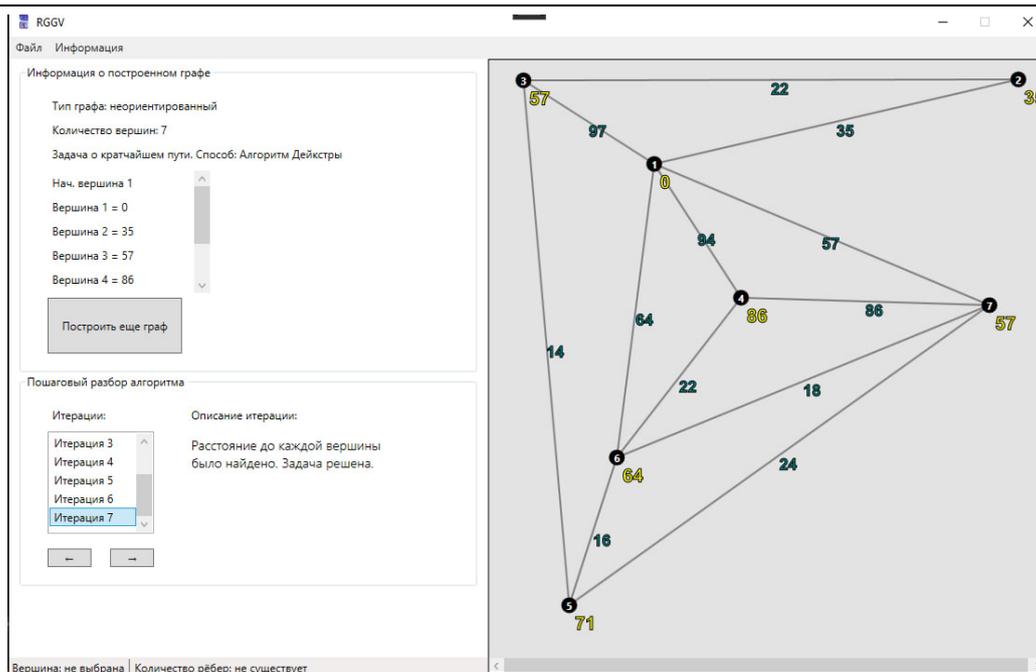


Рис. 5. Результат работы итерационного модуля, в котором показана финальная итерация, отличающаяся оптимизированными путями вершин

Проведя все необходимые тесты, можно подвести итог: алгоритм Дейкстры был успешно реализован

Список литературы

1. Акимов О.Е. Дискретная математика: логика, группы, графы. Лаборатория Базовых знаний, 2003.
2. Фляйшнер Г. Эйлеровы графы и смежные вопросы. Мир, 2002.
3. Дистель Р. Теория графов. Новосибирск: Институт математики, 2002.
4. Харари Ф. Теория графов. Едиториал УРСС, 2003.
5. Братищенко В.В. Проектирование информационных систем. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2004.
6. Мудров В.И. Задача о коммивояжере. Знание, 1969.
7. Левитин А.В. Алгоритмы. Введение в разработку и анализ. М. Вильямс, 2006.
8. Мак-Доналд, М. WPF: Windows Presentation Foundation в .NET 4.5 с примерами на C# 5.0 для профессионалов / М. Мак-Доналд, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. М. Вильямс, 2013.
9. Скит Д. C# для профессионалов: тонкости программирования, 3-е издание, новый перевод / Д. Скит, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. М. Вильямс, 2014.
10. Албахари Д. C# 6.0. Справочник. Полное описание языка = C# 6.0 in a Nutshell: The Definitive Reference. М. Вильямс, 2018.

Гюллинг Андрей Олегович, магистрант, gulling@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет им. Л.Н. Толстого,

Воронцова Наталья Вадимовна, канд. техн.наук, доцент, ynvyni@list.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет им. Л.Н. Толстого

VISUALIZATION OF THE DEISTRA ALGORITHM

A.O. Gulling, N.V. Vorontsova

The article is devoted to the consideration of the developed algorithm and the program for solving the problem of visualization of the Deistra algorithm.

Key words: graphs, visualization, C# programming language, WPF element.

Gulling Andrey Olegovich, undergraduate, gulling@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University named after L.N. Tolstoy,

Vorontsova Natalia Vadimovna, candidate of technical sciences, docent, ynvyni@list.ru, Russia, Tula, Tula State University named after L.N. Tolstoy

ЛУННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

А.С. Иванов, И.Л. Шкарупа, И.К. Устинов

18 июня 2009 года, ракета-носитель «Атлас-5» стартовал с космодрома «мыс Канаверал». На этот раз полезной нагрузкой был аппарат миссии LCROSS – Lunar Crater Observation and Sensing Satellite (Космический аппарат для наблюдения и зондирования лунных кратеров), вместе с этим аппаратом на ракете был, ныне уже знаменитый LRO – Lunar Reconnaissance Orbiter (дословно – орбитальный лунный разведчик), который смог создать невероятно подробную карту Лунной поверхности. Оба аппарата дали много знаний о нашем естественном спутнике, и в частности был найден ответ фундаментального характера – на Луне есть вода в виде льда. Причем, получилось обнаружить воду не дистанционными нейтронными сенсорами, а физическим контактом со льдом – одной из задач LCROSS было столкновение частью полезной нагрузки с Луной, ради получения искусственного кратера в нужном месте и в нужное время. Время появления кратера было подобрано так, чтобы аппарат прошел через пыль, поднятую с лунной поверхности. В этой пыли был обнаружен водяной лед, с которого был обнаружен регистрирующей аппаратурой [1].

Ключевые слова: лунная энергетика, электролиз воды, колонизация Луны, хранение газов.

Наличие воды на Луне уже стало достаточно распространенной, осуждаемой, даже раздражающей темой, но тем и важно это открытие, что позволяет думать о развитии и заселении нашего спутника. Конечно, про воду на Луне предполагали задолго до 2009 года, иначе миссии бы просто не было, но тем и прекрасен современный научный подход – он требует эксперимента и точного доказательства ради утверждения каких-либо фактов. С этого момента мы можем не только учитывать наличие воды на Луне, но и рассчитывать на этот ресурс.

Питье, дыхание, огонь... что-то еще? Вода – удивительное вещество, оно жизненно необходимо подавляющему числу известных биологических видов, в том числе и человеку. Только этот факт делает ее стратегически важным ресурсом для планирования места колонии. Вода состоит из трех атомов – два атома водорода и один атом кислорода, если воду «разделить» на составляющие с помощью электролиза – когда электрическая энергия тратится на разделение воды на составляющие вещества. Кислород необходим для дыхания, водород может быть частью высокоэффективного ракетного топлива или использоваться в других целях.

В 1839 году была опубликована заметка британского ученого Уильяма Роберта Грове, в которой он описал опыт, где обнаружил «постоянное отклонение» стрелки гальванометра между двумя платиновыми электродами, погруженными в жидкость, омываемыми один – кислородом, другой – водородом [2]. Позже Грове обнаружил, что процесс электролиза обратим, водород и кислород можно объединять, но с выделением электроэнергии и тепла, таким образом, получилось создать первый электрохимический генератор – (ЭХГ).

Энергоснабжение колонии. У Луны настолько ничтожная атмосфера, что можно сказать, что её там совсем нет, из-за этого солнечный свет, который падает на поверхность спутника, не теряет свою энергию, и солнечные панели, расположенные на поверхности, будут вырабатывать электричество эффективней чем на Земле, и самое главное – не зависимо от погодных условий. Одна проблема – Лунные сутки длятся 28 земных. На лунном экваторе 336 часов светло, 336 часов темно, и пока на черном небе есть солнце, проблем с энергией нет, но как только светило уходит за горизонт, вариантов энергообеспечения становится немного. Это одна из причин, почему первые лунные колонии хотят строить у полюсов – там есть участки, которые освещены солнцем всегда, так и участки где солнца не было миллиарды лет, и там же есть доказанные запасы водяного льда у самой поверхности [3].

Но Луна чрезвычайно интересный объект для исследований несмотря на то, что Лунная поверхность запечатлена аппаратами в лучшем качестве и разрешении чем поверхность Земли! Исследований на поверхности, а тем более под поверхностью почти не проводилось. Геологоразведки Луны почти не было, карт скальных лунных пород, пещер и прочего не сделано.

Естественные процессы формирования планетных объектов солнечной системы, так и гравитационное влияние Земли привели к тому, что у Луны были периоды невероятной геологической активности – на видимой стороне естественного спутника есть хорошо заметные светлые области, называемые «морями», они ни что иное, как огромные разливы лунной лавы, которая застыла, эти участки отличаются гораздо меньшим количеством кратеров, этот фактор позволяет предположить, что эти «морья» заметно моложе, чем сама Луна. Принимая во внимание вышесказанное, можно констатировать, что на видимой стороне Луны может быть много доступных к добыче ресурсов. На Луне не ожидается добыть уголь и углеводороды, т. к. эти полезные ископаемые сформировались на Земле из-за жизнедеятельности растительного покрова (жизнь на Земле существует 3,5 млрд. лет), а на Луне этот этап развития отсутствовал. Из-за низкой лунной гравитации и высокой геологической активности у Луны могут быть обширные пещерные сети. Наибольшая плотность лунных «морей» сконцентрированы как раз ближе к экватору, в случае расположения там колонии исследователей ярко проявляется проблема с энергообеспечением, о которой говорилось выше.

Проблема имеет несколько вариантов решения:

Солнечные панели с аккумулярованием излишек электричества.

Независимый источник энергии.

Независимый источник энергии — это либо РИТЭГ (Радиоизотопный термоэлектрический генератор), либо реактор – ядерный или термоядерный. Энергетических термоядерных реакторов, правда, пока не существует. РИТЭГ достаточно компактный, безопасный и стабильный источник энергии, который может работать десятки лет, но электроэнергия РИТЭГ производит недостаточно, поэтому такой генератор может быть включен в состав лунной станции как резервный источник питания. Ядерный реактор может быть достаточно мощным производителем электроэнергии, с достаточным ресурсом работы – 60 и более лет без перезагрузки топлива. Компактные ядерные энергетические установки эксплуатировали в космическом пространстве, создание для такого генератора для лунной

станции уже скорее инженерная работа, которая точно будет выполнена. Но у ядерных реакторов есть ряд недостатков, главный из которых – радиационная опасность такой энергетической установки.

Солнечные панели с вариантом аккумулирования электричества – альтернативный вариант для ранних лунных колоний. В качестве аккумулятора могут быть использованы классические электрические аккумуляторы, вроде литий-ионных, но такой вариант сразу отпадает, так как на Луну придется привезти очень большое количество, а следовательно и массу таких элементов ради снабжения станции на время лунной ночи. В качестве альтернативного варианта аккумулирования электрической энергии может стать лунная вода.

Лунный энергетический дуализм. Как и электромотор, который может быть источником энергии, если вращать ротор принудительно, так и электролизер при модификации конструкции может не только потреблять энергию и разлагать воду на кислород и водород, так и соединять эти элементы превращая это в воду с выделением энергии (см. формулу 1):



Если создать достаточно надежные хранилища для водорода и кислорода, воду, возможно, использовать как аккумулятор энергии. Электролизер обязан быть у Лунной колонии, как минимум, ради получения кислорода для дыхания, также его можно использовать для генерации энергии. Этим способом можно решить проблему энергоснабжения станции – днем солнечные панели будут вырабатывать энергию для потребности колонии, также и нарабатывать водорода и кислорода, ночью же водород и кислород будут использоваться для генерации электричества и для получения воды, вырабатываемое тепло будет использоваться для отопления обитаемых модулей и аппаратуры.

Предположим, ранняя лунная колония будет потреблять энергии столько же, сколько и МКС, тогда, необходимая мощность генераторов должна быть на уровне 50-80 кВт. Как было сказано выше, основой генерации станут солнечные панели, которые должны удовлетворять потребность станции, так и питать электролизер. Допустим, что колония находится примерно на экваторе Луны, тогда площадь солнечных панелей только ради удовлетворения потребности станции должна быть – $1367 \text{ Вт/м}^2 \times \text{КПД фотоэлемента}$. Плотность солнечной энергии на расстоянии 1 а.е. от Солнца составляет 1367 Вт/м^2 . КПД солнечных панелей находится на уровне 20%, получается, площадь солнечной электростанции, указанной мощности 185-300 м². В качестве примера топливного элемента, пусть будет устройство с характеристиками идентичными с установками космического аппарата «Буран», (см. Таблицу 1).

Таблица 1

Характеристики ЭХГ «Фотон»[5].

Характеристика	ЭХГ «Фотон» для космического аппарата «Буран»
Мощность номинальная, кВт	10
Напряжение на одном ТЭ, В	0,95
Плотность тока, мА/см ²	200
Электрохимический КПД, %	77
Ресурс, ч	6800
Расход водорода, кг/час	0,5

Для обеспечения колонии с потребностью 50 кВт электрической энергии в течение 400 часов, нужно иметь в запасе 780 кг водорода и 6200 кг кислорода. При нормальных условиях это 8640 м³ водорода и 4360 м³ кислорода. Если использовать электролизер с характеристиками промышленных установок, то, чтобы за 330 часов наработать необходимое количество разделенного вещества, нужно дополнительно иметь 145 кВт энергии, при таком условии будет происходить наработка 25-30 м³ водорода и 12-14 м³ кислорода в час [5].

У колонии солнечные панели должны генерировать 190-210 кВт энергии, при учете солнечной постоянной, итоговая площадь солнечного генератора для нужды лунной колонии составляет 630-690 м². Для сравнения, суммарная площадь солнечных панелей МКС составляет 1680 м².

В таком случае серьезной проблемой будет уже надёжное хранение запасов газов и воды, и чтобы вариант с предлагаемым аккумулированием энергии имел смысл – необходимо резервуары изготавливать на месте из местных материалов. Некоторые варианты лунной колонии подразумевают строительство обитаемых модулей из лунного реголита, можно предположить, что похожая технология может применяться для строительства объемов хранения воды, кислорода и водорода. Хранить водород и кислород целесообразно под большим давлением в капиллярах, изготовленных из лунного реголита. Это позволит эти хранилища иметь относительно небольшого размера.

Закключение. Энергетический дуализм с применением солнечных панелей и электролиза воды - предпочтительный вариант энергообеспечения малой экваториальной лунной колонии. В этом случае, ядерные энергетические установки избыточны, к тому же они потребуют дополнительный экипаж для обслуживания. Если использовать капилляры малого размера, изготовленные из лунного реголита для хранения водорода и кислорода под большим давлением, то это приведёт к тому, что не надо будет создавать резервуары больших объемов для хранения газов и жидкостей. Для нормальной работы экипажа необходима вода, её добыча предусматривается в любых лунных станциях, и эту же воду можно использовать как аккумулятор энергии.

Список источников

1. LCROSS: Finding Water at the Lunar South Pole. by Brian H. Day.
2. Янга Г.Д. Топливные элементы: перевод с английского под редакцией. М.: Издательство иностранной литературы, 1963. 216 с.
3. COSPAR Moscow 2014 COSMOS 40th SCIENTIFIC ASSEMBLY. «Прибор ЛЕНД изучает водные ресурсы Луны», 2014.
4. Матрёнин В.И., Овчинников А.Т., Поспелов Б.С., Соколов Б.А., Стихин А.С. От энергетики орбитального корабля «Буран» к энергетике космических кораблей и станций // Космическая техника и технология. 2013.

№ 3. С. 57–65.

5. Общая энергетика: водород в энергетике : учебное пособие для вузов / Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа; под научной редакцией С.Е. Щеклеина. М.: Издательство Юрайт, 2024. 230 с.

Иванов Арсений Сергеевич, инженер-исследователь, mr.arseny.ivanov@mail.ru, Россия, Обнинск, АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» им. А.И.Лейпунского,

Шкарупа Игорь Леонидович, канд. техн. наук, руководитель группы, shil2018igor@yandex.ru, Россия, Обнинск, АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» им. А.И.Лейпунского,

Устинов Игорь Константинович, канд. техн. наук, доцент, ustinovicgorkir@yandex.ru, Россия, Калуга, Калужский филиал Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана

LUNAR ENERGY

A.S. Ivanov, I.L. Shkarupa, I.K. Ustinov

On June 18, 2009, the Atlas-5 launch vehicle launched from the Cape Canaveral cosmodrome. This time, the payload was the LCROSS – Lunar Crater Observation and Sensing Satellite (a spacecraft for observing and probing lunar craters), along with this device on the rocket was the now famous LRO – Lunar Reconnaissance Orbiter (literally, the orbital lunar scout), which was able to create an incredibly detailed map of the Lunar surface. Both devices provided a lot of knowledge about our natural satellite, and in particular, a fundamental answer was found – there is water in the form of ice on the Moon. Moreover, it turned out to detect water not by remote neutron sensors, but by physical contact with ice – one of the tasks of LCROSS was to collide part of the payload with the Moon, in order to obtain an artificial crater in the right place and at the right time. The time of the crater's appearance was chosen so that the spacecraft passed through the dust lifted from the lunar surface. Water ice was found in this dust, which was detected by recording equipment [1].

Key words: lunar energy, electrolysis of water, colonization of the moon, gas storage.

Ivanov Arseny Sergeevich, research engineer, mr.arseny.ivanov@mail.ru, Russia, Obninsk, JSC «GNC RF-FEI» named after A.I.Leipunsky,

Shkarupa Igor Leonidovich, candidate of technical sciences, head of the group, shil2018igor@yandex.ru, Russia, Obninsk, JSC «GNC RF-FEI» named after A.I.Leipunsky,

Ustinov Igor Konstantinovich, candidate of technical sciences, docent, ustinovicgorkir@yandex.ru, Russia, Kaluga, Kaluga branch of the Bauman Moscow State Technical University

УДК 004.896

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-135-136

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫРАБОТКИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

С.В. Шабунин

В данной статье рассматривается, что важным фактором влияющим на прогнозирование выработки электрической энергии фотоэлектрической установкой является климатические условия, а частности температура окружающей среды. Предлагается спрогнозировать выработку собственной генерации используя интеллектуальную нейронную сеть. Модель прогнозирования будет учитывать изменение температуры окружающей среды. Рассматривается как изменение температуры окружающей среды влияет на выработку электроэнергии. Важно учитывать почасовое изменение температуры окружающей среды, что бы ошибка прогнозирования имела минимальные значения.

Ключевые слова: интеллектуальная нейронная сеть, прогнозирование, фотоэлектрическая установка.

Введение. Планирование распределения потоков электроэнергии является важнейшей задачей из-за высокого уровня неопределенности в интеллектуальной сети, существует острая необходимость в качественном методе обработки прогнозируемой выработки электроэнергии возобновляемых источников энергии фотоэлектрических панелей. Технология искусственного интеллекта - дает возможность повысить качество принятия решений задач прогнозирования.

Преобразование солнечной энергии в электрическую является перспективным направлением возобновляемой генерации электрической энергии. Солнечная энергия практически безгранична и не загрязняет окружающую среду. Широкое распространение солнечной генерации увеличивает роль прогнозирования выработки электроэнергии фотоэлектрических установок. Для эффективного прогнозирования выработки электроэнергии необходимо спрогнозировать поведение фотоэлектрической установки при изменении условий окружающей среды.

Как правило, для решения задач прогнозирования используют регрессионные модели, позволяющие связать известное количество необходимой электроэнергии, поступающей с собственной фотоэлектрической установки, а также с шиной питающей подстанции с потреблением электроэнергии исследуемым потребителем. [1]

В настоящее время получили распространение системы, моделирующие нервную систему живых организмов. В информационных источниках есть большое количество публикаций, основанных на использовании для прогнозирования искусственные нейронные сети. Цель прогнозирования уменьшение риска при принятии решения. [2] В настоящее время исследователи сосредоточили свое внимание на интеллектуальных методах прогнозирования таких как искусственные нейронные сети.

Искусственная нейронная сеть-это интеллектуальная вычислительная система, основной принцип которой основан на поведении биологических нейронов, в мозге человека. [3].

Постановка задачи. Рассмотрим следующую задачу: Генерирующий потребитель имеет собственную генерацию в виде фотоэлектрической установки и накопитель энергии, а также подключен к питающей подстанции. При планировании распределения потоков электроэнергии необходимо спрогнозировать выработку собственной фотоэлектрической установки для планирования необходимого количества электрической энергии поступающей с питающей подстанции. При прогнозировании необходимо опираться на данные выработки электрической энергии за прошлый период времени и прогнозе температуры окружающей среды влияющих на выработку возобновляемых источников энергии.

Целью работы является оценка влияния температуры окружающей среды при прогнозировании выработки электроэнергии на основе искусственной нейронной сети, отвечающий следующим требованиям:

- выполнение прогноза выработки фотоэлектрической установки на каждый час суток при среднесуточной температуре окружающей среды
- выполнение прогноза выработки фотоэлектрической установки при изменении температуры окружающей среды на каждый час суток.

Исходные данные. Предварительная обработка данных необходима для оценки возможности прогнозирования. Основными данными в этой статье являются значения выработки, полученные от ООО «Комплекс Индустрия» Республика Бурятия России Кабанская СЭС. Производственные данные взяты с 20.05.2020 по 30.09.2020, но подробно рассмотрены данные с 1-7 июня 2020 года. Погодные условия также были приняты в соответствии с географическим расположением солнечной электростанции на эти периоды времени. Солнечная генерация обладает свойством изменчивости, было решено проверить это визуально по полученным данным о генерации. Визуальный анализ изменчивости выработки электроэнергии был проведен путем изучения выработки электроэнергии в течение нескольких недель. На рис. 1 показана изменчивость мощность выработки. На рис. 1 показана изменчивость мощности солнца.

Таблица 1

Исходные данные для прогнозирования электропотребления (фрагмент)

Момент времени	Температура воздуха T, °C	Мощность P, кВт
20.05.2020, 11:00	23	600
20.05.2020, 12:00	23	750
20.05.2020, 13:00	25	1200
20.05.2020, 14:00	28	950
20.05.2020, 15:00	28	950
...
30.09.2020, 22:00	22	0
30.09.2020, 23:00	22	0

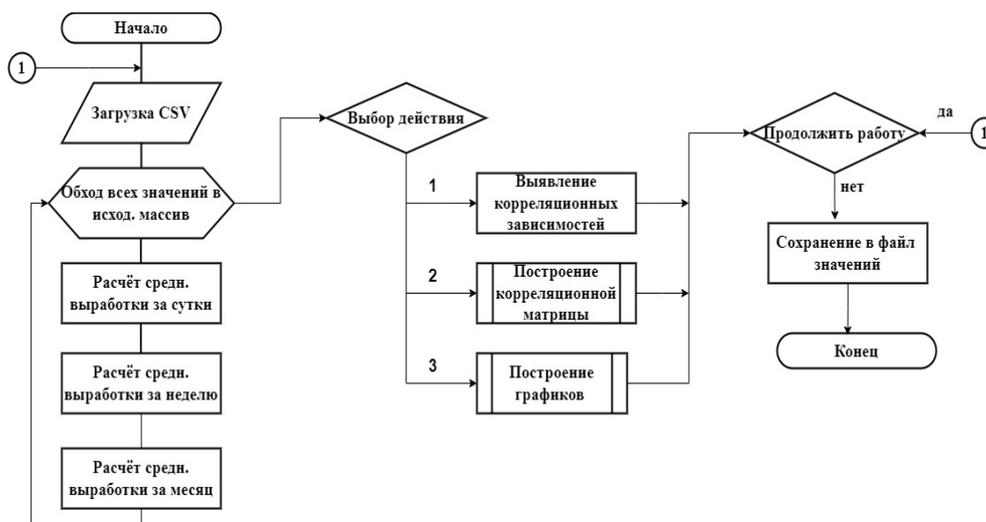


Рис. 1. Алгоритм обработка данных выработки электрической энергии фотоэлектрическими панелями с расчетом факторов, влияющих на работу системы

На рис. 1 показано, что на вход подаётся информация, которая содержит файл формата «.csv» с исходными данными, который содержит данные о выработке электроэнергии фотоэлектрическими панелями, с периодичностью в один час и метеоданные окружающей среды на каждом из интервалов. Производится анализ данных, который включает: расчёт средних показателей выработки электроэнергии и метеофакторов в интервалах: сутки, неделя, ме-

ся; расчёт коэффициентов корреляции между следующими параметрами: t и p . Результатом работы программы является вывод графиков объёмов выработки электроэнергии и температуры окружающей среды в заданных временных интервалах, а также числовые значения корреляции между выбранными параметрами.

Прогнозирование выработки электроэнергии солнечными панелями. В данной задаче прогнозирования используем информационно аналитическую систему Rapidminer, где функциональные блоки выделены в специальные операторы с помощью которых формируется обработка данных. Архитектура интеллектуальной нейронной сети учитывает особенности выработки электрической энергии фотоэлектрической установки. [4-6] При прогнозировании выработки особое значение имеет метеорологический прогноз погоды, так как на выработку влияют погодные климатические и сезонные условия. Температура влияет на способность фотоэлектрической установки производить энергию [7-9].



Рис. 2. Суточная прогнозируемая выработка фотоэлектрической установки при отклонении от средней температуры окружающей среды

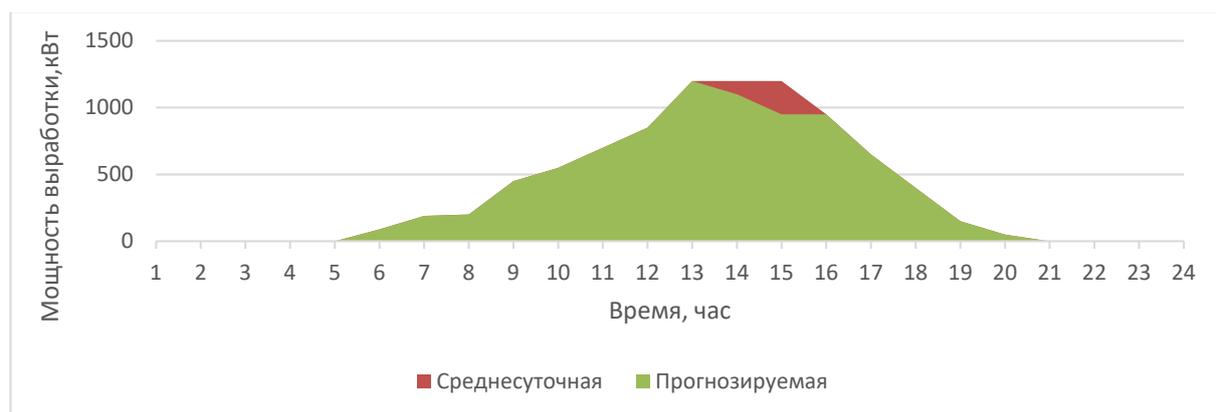


Рис. 3. Влияние температуры окружающей среды в суточном интервале

Attribute	Atmosphere pressure	Consumption, Kvt	date:day_of_month	date:day_of_week = 1	date:day_of_week = 2	date:day_of_week = 3	date:day_of_week = 4	Day	temp
Atmosphere pressure	1,000	-0,104	-0,484	-0,129	0,017	0,014	0,164	-0,134	-0,183
Consumption, Kvt	-0,104	1,000	0,189	-0,016	-0,034	-0,007	0,083	-0,022	0,156
date:day_of_month	-0,484	0,189	1,000	0,049	-0,071	-0,022	0,022	0,058	-0,017
date:day_of_week = 1	-0,129	-0,016	0,049	1,000	-0,170	-0,169	-0,169	0,613	-0,014
date:day_of_week = 2	0,017	-0,034	-0,071	-0,170	1,000	-0,149	-0,149	-0,614	-0,016
date:day_of_week = 3	0,014	-0,007	-0,022	-0,169	-0,149	1,000	-0,148	-0,419	-0,068
date:day_of_week = 4	0,164	0,083	0,022	-0,169	-0,149	-0,148	1,000	-0,227	-0,064
Day	-0,134	-0,022	0,058	0,613	-0,614	-0,419	-0,227	1,000	0,030
temp	-0,183	0,156	-0,017	-0,014	-0,016	-0,068	-0,064	0,030	1,000

Рис. 4. Матрица корреляции между параметрами

Из рис. 2-3 следует, что при повышении температуры окружающей среды выше 25 градусов выработка электрической энергии фотоэлектрической установки снижается чем больше повышается температура окружающей среды свыше 25 градусов тем сильнее падает выработка электрической энергии фотоэлектрической установки снижается (рис.3)

На рис. 4 показано, что в процессе сбора и обработки данных, основываясь на экспертных оценках, были учтены такие параметры, как мощность потребления электроэнергии на предприятии, время суток (час в сутках), день недели, день месяца, температура, атмосферное давление. Результаты корреляционного анализа между выбранными параметрами. Корреляционный анализ является одним из ключевых методов статистического анализа, который позволяет определить степень связи между двумя или более переменными.

Один из наиболее распространенных индикаторов корреляционного анализа - коэффициент корреляции Пирсона. Он измеряет линейную связь между двумя непрерывными переменными и может принимать значения от -1 до 1. Значение коэффициента корреляции Пирсона близкое к 1 указывает на положительную линейную связь, близкое к -1 - на отрицательную линейную связь, а значение близкое к 0 - на отсутствие линейной связи [10].

Обсуждение результатов. Метод прогнозирования, основанный на искусственной нейронной сети, практически значим, основываясь на данных, приведенных на рисунке 3. Этот метод играет важную роль в исследовании, поскольку это позволяет определить значимость факторов метеорологических условий для того, чтобы указать на их значимость в выработке солнечной энергии.

В будущем планируется использовать модель прогнозирования, основанную на искусственной нейронной сети, для определения вклада каждого фактора, влияющего на основную характеристику, и для изучения процессов производства энергии.

Заключение. В результате исследования было установлено, что при повышении температуры окружающей среды выше 25 градусов выработка электрической энергии снижается. При построении прогнозной модели важно учитывать почасовое изменение температуры окружающей среды, чтобы ошибка прогнозирования имела минимальные значения. Прогнозирование выработки электроэнергии из возобновляемых источников позволит оператору интеллектуальных систем максимально использовать собственную выработку электроэнергии и подключаться к станции электроснабжения только при плановом дефиците электроэнергии, что обеспечит наиболее сбалансированное управление энергоресурсами.

Список литературы

1. Валь П.В. Краткосрочное прогнозирование электропотребления горного предприятия с использованием однофакторных методов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2011. № 2(35). С. 12–17.
2. Исследование методов аппроксимации для решения задачи краткосрочного прогнозирования суточного электропотребления / Р.Н. Хамитов, А.С. Грицай, И.В. Червенчук, Г.Э. Сеницин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2016. № 4(52). С. 91–98.
- 3 Reynolds, C.F. A Distributed Behavioral Model / C.F Reynolds, Herds, and Schools // Computer Graphics. – 1987. Vol. 21. – no. 4. – P. 25–34.
2. Eberhart, R.C. New Optimizer Using Particle Swarm Theory / R.C. Eberhart, J. Kennedy // VI International Symposium on Micro Machine and Human Science, Japan. – 1995. – P. 39–43.
4. Kennedy, J. Particle swarm optimization / J. Kennedy, R.C. Eberhart // International Conference on Neural Networks (ICNN'95). Perth, WA, Australia. –1995. – P. 1942–1948.
5. Shi, Y. A modified particle swarm optimizer / Y. Shi, R. Eberhart // IEEE International Conference on Evolutionary Computation. Anchorage, AK, USA. – 1998. – P. 69–73
6. Karaboga, D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical report-tr06 [Электронный ресурс] / D. Karaboga. –Turkey, Kayseri: Erciyes University, 2005. – 10 p. – Режим доступа:http://www.dmi.unict.it/mpavone/nc-cs/materiale/tr06_2005.pdf. – Загл. с экрана.
7. Pham, D.T. The Bees Algorithm – A Novel Tool for Complex Optimisation Problems / D.T. Pham, A. Ghanbarzadeh, E. Koç, S. Otri, S. Rahim, M. Zaidi. – 2005. – 40 p. – Режим доступа:
8. Воевода А.Е., Харитонова Д.Д., Валь П.В. Краткосрочное прогнозирование электропотребления на основе метода случайного леса // Электроэнергетика глазами молодежи - 2016 : Материалы VII Международной молодежной научно-технической конференции. В 3 т., Казань, 19–23 сентября 2016 года. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет. 2016. С. 124–127.
9. Денисова Л.А. Математическая модель цифровой системы регулирования с переменными параметрами // Автоматизация в промышленности. 2011. №9. С. 45–48
10. Chen, T. and Guestrin, C. (2016) XGBoost: A scalable tree boosting system, arXiv.org. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1603.02754>

Шабунин Сергей Владимирович, аспирант, AgranomMotor@yandex.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Научный руководитель Денисова Людмила Альбертовна, д-р техн. наук, профессор, denisova@asoiu.com, Россия, Омск, Омский государственный технический

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF AMBIENT TEMPERATURE ON THE PREDICTION OF THE PRODUCTION OF A PHOTOELECTRIC INSTALLATION

S.V. Shabunin

This article considers that an important factor in predicting the production of electric energy by a photovoltaic installation is climatic conditions, in particular the ambient temperature. It is proposed to predict the generation of its own generation using an intelligent neural network. The forecasting model will take into account the change in ambient temperature. It is considered how the change in ambient temperature affects the generation of electricity. It is important to take into account the hourly change in ambient temperature, so that the prediction error has minimal values.

Key words: intelligent neural network, forecasting, wind power plant, photovoltaic plant.

Shabunin Sergey Vladimirovich, postgraduate, ayugorshenin@omgtu.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University

Scientific director Denisova Lyudmila Albertovna, doctor of technical science, professor, den-isova@asoiu.com, Russia, Omsk, Omsk State Technical University

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ

А.А. Бурлаков, В.С. Скрыбин, Е.В. Комаров, В.А. Питенко, А.Я. Моргунов

В статье описаны функции, реализуемые системой информационной поддержки процесса планирования, представлена ее функциональная структура. Подробно рассмотрены основные режимы функционирования системы, а также предполагаемые результаты ее использования.

Ключевые слова: система информационной поддержки, функциональная структура, функция.

Функции, реализуемые системой информационной поддержки процесса планирования (СИППП), представляются в виде:

$$\begin{aligned} f_C: A_{ij} \times J \times R_C &\rightarrow A_{ij}; \\ f_{Z_M}: Z_{Z_M} \times J \times R_{Z_M} &\rightarrow A_{ij}; \\ f_{Z_K}: Z_{Z_K} \times J \times R_{Z_K} &\rightarrow A_{ij}; \\ f_{Z\Pi} &= \{f_{C_C}; f_{D_C}; f_{D}; f_M\}; \\ f_{C_C}: P_{DЛ} \times F_{C_C} &\rightarrow \bigcup_{k=1}^q A_{ij}; \\ f_{D_C}: P_{DЛ} \times SH_{D_C} \times F_{D_C} &\rightarrow \bigcup_{k=1}^q A_{ij}; \\ f_D: P_{DЛ} \times SH_D \times F_D &\rightarrow A_{ij}; \\ f_T: P_{DЛ} \times SH_T \times F_T &\rightarrow A_{ij}, \end{aligned}$$

где f_C – функция ссылок; f_M – функция замещения; f_{Z_K} – функция заметок; $f_{Z\Pi}$ – функция запросов; f_{C_C} – подфункция поиска информации по статическим связям; f_{D_C} – подфункция поиска информации по динамическим связям; f_D – подфункция полнотекстового поиска данных; f_T – подфункция поиска понятий по имени в тезаурусе; A_{ij} – информационный блок; J – множество якорей, каждый из которых состоит из идентификатора, на который можно сослаться по связи, и значения, которое должно выбираться из определенной якорем части информации; R_C – множество правил переходов при реализации функции ссылок; R_{Z_M} – множество правил переходов при реализации функции замещения; R_{Z_K} – множество правил переходов при реализации функции заметок; Z_{Z_M} – множество вариантов замещений информационного блока; Z_{Z_K} – множество заметок в информационном хранилище (ИХ); F_{C_C} – множество переходов по статическим связям, F_{D_C} – множество переходов по динамическим связям; F_D – множество реализаций алгоритмов полнотекстового поиска в ИХ; F_T – множество реализаций алгоритмов поиска по имени в тезаурусе; $P_{DЛ}$ – множество информационных потребностей должностных лиц (ДЛ); SH_{D_C} – шаблон запроса поиска информации по динамическим связям; SH_D – шаблон запроса информации по полнотекстовому поиску; SH_T – шаблон запроса поиска информации по имени в тезаурусе.

Функция ссылок представляет собой отображение декартова произведения множества ссылок в информационном блоке, якорей и правил переходов по ссылкам на информационные блоки. Результатом произведения является множество ассоциативно связанных информационных блоков, от которых имеются ссылочные связи к исходным блокам. ДЛ получает семантически близкую информацию относительно исходного информационного блока.

Функция замещения представляет собой отображение декартова произведения множества вариантов замещений информационного блока, якорей и правил переходов по замещению на множество информационных блоков. Результатом произведения является множество информационных блоков, которые отображают его семантику в различных формах представления (текст, графика, аудио, видео). Выбор формы представления имеющейся информации принадлежит ДЛ.

Функция заметок представляет собой отображение декартова произведения множества заметок, якорей и правил переходов по установленным ДЛ заметкам на множество информационных блоков. Результатом произведения является множество информационных блоков, которые имеют предварительно установленные заметки.

Функция запросов, в зависимости от применяемого вида поиска представляется следующим образом.

Функция поиска по статическим связям представляет собой отображение декартова произведения множеств информационных потребностей ДЛ на множество переходов по статическим связям на множество информационных блоков. Результатом является множество информационных блоков, выбранных ДЛ в результате поиска.

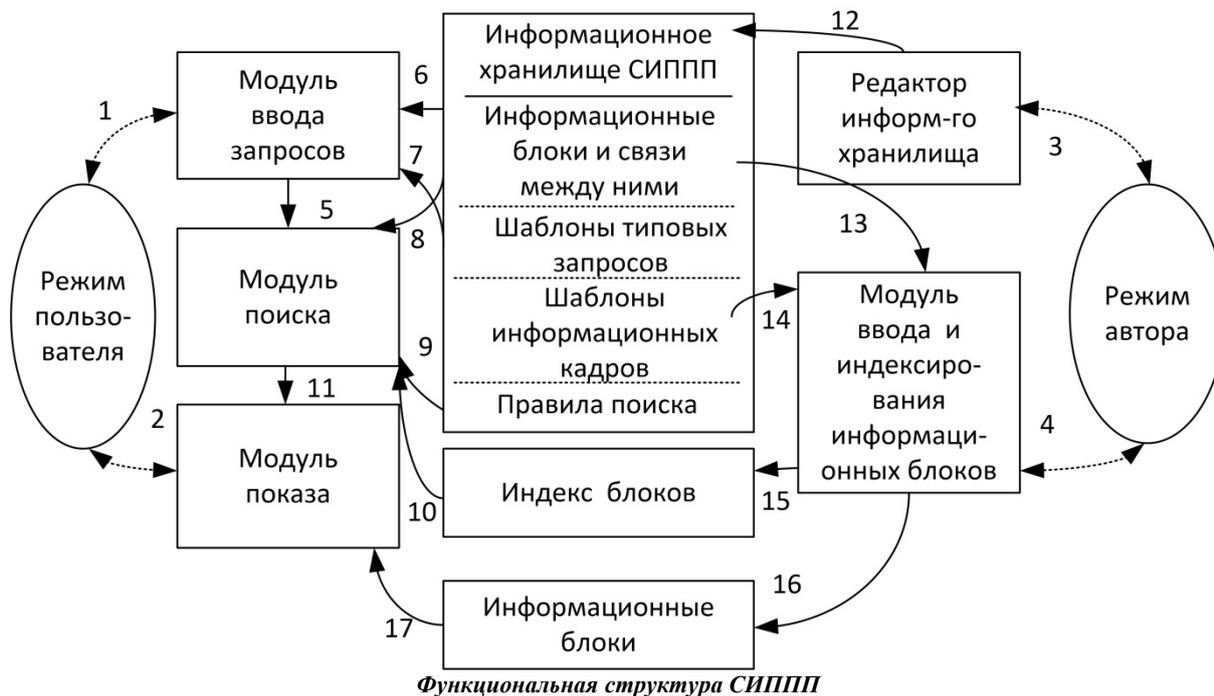
Функция поиска по динамическим связям представляет собой отображение декартова произведения множества информационных потребностей ДЛ, шаблонов запросов, вызываемых ДЛ и множество реализаций алгоритмов поиска на множество информационных блоков. Результатом является множество информационных блоков, представленных в виде сформированной, согласно семантики, запроса сети гиперграфа.

Функция поиска данных представляет собой отображение декартова произведения множества информационных потребностей ДЛ, шаблонов запросов данных, и множество реализаций алгоритмов поиска на множество информационных блоков. Результатом является множество данных, представленных в виде вновь сформированного информационного блока.

Функция поиска по имени тезауруса представляет собой отображение декартова произведения множества информационных потребностей ДЛ, шаблонов запросов, вызываемых ДЛ и множество реализаций алгоритмов поис-

ка на множество информационных блоков. Результатом является информационный блок, имеющий в своем составе данный тезаурус.

Функциональная структура СИППП и взаимодействие ее компонентов показаны на рис.



Выделим два основных режима функционирования системы: 1) режим автора, в котором эксперт или подготовленный ДЛ осуществляет создание и модификацию информационного хранилища СИППП, 2) режим пользователя, в котором ДЛ выполняет запрос и получение необходимой информации.

ДЛ в режиме пользователя взаимодействует с двумя модулями системы: модулем ввода запросов (1) и модулем показа отобранной информации (2). Модуль ввода запросов обеспечивает возможность формирования запроса пользователя на основе шаблона типового запроса (7) и информационных блоков и связей базы данных (6). Сформулированный запрос транслируется и передается модулю поиска (5), который отбирает релевантные информационные блоки по индексу (10). Отбор блоков осуществляется путем сопоставления запроса с индексными записями полей блоков с учетом связей между ними (8). При этом возможно применение эвристических правил поиска информации (9). Отобранные блоки (17) связываются модулем показа информации (2) в гипертекст, который и предъявляется ДЛ.

Эксперт взаимодействует с редактором информационного хранилища (3) и модулем ввода и индексирования информационных блоков (4). Для каждого добавляемого в информационное хранилище нового информационного блока (16) в индексе блоков создается индексная запись (15), задающая шаблон описания документа (14), поля которого заполнены индексными данными (13).

Основной метод отбора информации – это сопоставление пунктов запроса с индексными записями, описывающими содержание документов. Сопоставление двух фрагментов P_3 (пункт запроса) и I_3 (индексная запись) успешно, т.е. P_3 и I_3 сопоставимы, в следующих случаях:

1. P_3 и I_3 есть простые понятия и либо I_3 is - a P_3 , либо P_3 is - a I_3 ;
2. одно из P_3 и I_3 или оба являются множествами и либо

а) элементы P_3 связаны через "или" и существует хотя бы одна пара p_3 in P_3 и i_3 in I_3 такая, что i_3 сопоставимо с p_3 , либо

б) элементы P_3 связаны через "и" и для каждой пары p_3 in P_3 и i_3 in I_3 выполняется, что i_3 сопоставимо с p_3 ;

3. P_3 и I_3 являются экземплярами одного и того же составного понятия и либо значение соответствующего поля I_3 сопоставимо с соответствующим значением поля P_3 .

Таким образом, критерием релевантности блока является присутствие в его индексной записи либо каждой требуемой записи, либо потомков требуемой записи в is-a-иерархии.

Если запрос состоит из нескольких пунктов, блок отбирается в случае сопоставления его индексной записи хотя бы с одним из пунктов.

Помимо сопоставления, в процессе поиска могут использоваться правила поиска, задаваемые в базе данных. Выделяется 2 типа правил: IF-NOT-FOUND и IF-FOUND правила.

Правила первого типа определяют поведение системы в случае, если ни один документ не соответствует какому-либо пункту запроса. Предполагается, что часть релевантной информации может присутствовать неявно.

Правила второго типа позволяют дополнить отобранные блоки семантически близкой информацией.

Правила обоих типов имеют сходную структуру. Они добавляют новые пункты запроса, что позволяет отбирать дополнительные информационные блоки.

По запросу ДЛ может быть отобрано достаточно большое количество блоков, взаимосвязанных по содержанию. Семантические связи между документами следует сделать видимыми для пользователя. Для этой цели ре-

зультаты поиска представляются в виде фрагмента сети. Отобранные блоки образуют узлы фрагмента сети. Система устанавливает связи между узлами, учитывая, во-первых, историю выбора блоков по IF-FOUND правилам, во-вторых, сходство индексных записей блоков. Для облегчения ориентации между блоками соответствующие узлы подразделяются на первичные (отобранные непосредственно по запросу) и дополнительные (отобранные по правилам поиска). Кроме того, используются некоторые эвристики относительно общности и специфичности блоков.

Следует отметить, что форма представления блоков может быть различной. Большинство типов блоков (тексты, изображения, видео- и аудиоинформация) предполагают непосредственное предъявление пользователю. В то же время для числовых и табличных данных система должна производить дополнительные преобразования с тем, чтобы выявить их структуру и облегчить пользователю анализ информации. Так, для табличных документов должна обеспечиваться возможность переструктурирования, отбора строк и столбцов и т.д. В случае данных, имеющих территориальную привязку, обеспечивается интерактивное построение аналитических карт с различными способами картографического изображения. Наконец, учитывая характеристики данных (типы значений и отношения между соответствующими данными) и цели их использования ДЛ (выражающиеся в выбранном типом запросе), система должна автоматически построить когнитивно-графическую иллюстрацию.

Следует отметить, что возможности предлагаемой системы существенно отличаются от традиционных статических систем. В традиционных системах при работе с большими гипертекстами пользователь испытывает серьезные проблемы дезориентации и когнитивных перегрузок [1, 2]. Эксперименты показали, что поиск информации средствами навигации по гипертексту крайне неэффективен [3]. Поиск по ключевым словам, реализованный в некоторых системах, также не решает указанных проблем. Напротив, в представленном подходе просмотру предшествует стадия отбора информации, в результате чего гипертекст состоит из относительно небольшого количества заведомо релевантных информационных блоков.

Предложенная формальная модель СИППП обобщает идею информационного поиска как по статическим, так и по динамическим связям. Архитектура, основанная на пространствах активности, играет существенную роль в реализации дружественного интерфейса системы. Отличительным свойством предлагаемой СИППП является подход, при котором происходит динамическое связывание отобранных блоков в гипертекст, отражающее семантические связи между фрагментами информации, что обеспечивает более полную семантическую взаимосвязь элементов предметной области.

Основываясь на использовании указанных выше положениях формальной модели, предложим представление структуры СИППП, отображающее ее компоненты, необходимые для автономной работы ДЛ.

В качестве основных элементов структуры выделим модуль реализации пространств активности и модуль управления. Последний модуль реализует обработку, хранение и поиск данных (узлов, связей и составных объектов вместе со своими атрибутами). Разрабатываемые документы сохраняются в базе данных.

Совместно используемые пространства активности отображаются посредством браузеров. Все изменения сохраняются в информационном хранилище СИППП.

Использование подхода при формировании модели СИППП, основанного на применении метафоры “паутина вычислений”, в последующем развивая его на основе реализации пространств активности, и приведение данных подходов к формальному виду позволяет построить систему, которая гипотетически повысит эффективность информационной поддержки работы ДЛ при планировании.

Список литературы

1. Котенко И.В. Теория и практика построения автоматизированных систем информационной и вычислительной поддержки процессов планирования связи на основе новых информационных технологий. Монография. СПб.: DEC, 1998. 404 с.
2. Карпов Е.А., Котенко И.В., Боговик А.В. и др. Основы теории управления в системах военного назначения. Часть 1. СПб.: ВУС, 2000. 194 с.
3. Галов С.Ю., Кудрявцев А.М., Смирнов А.А. Применение аналитических методов при принятии решений: Учеб. пособие. СПб.: ВАС, 2019. 110 с.

Бурлаков Андрей Анатольевич, канд. воен. наук, доцент, доцент кафедры, burlakov38@gmail.com, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи.

Скрябин Виктор Сергеевич, преподаватель кафедры, 3944550@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи.

Комаров Евгений Владимирович, канд. воен. наук, доцент, преподаватель кафедры, komarovv53@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи.

Питенко Валерий Александрович, старший преподаватель кафедры, valalpit@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи.

Моргунов Алексей Яковлевич, канд. воен. наук, доцент, профессор кафедры, vchery@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи.

FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR THE PLANNING PROCESS

A.A. Burlakov, V.S. Skrybin, E.V. Komarov, V.A. Pitenko, A.Ya. Morgunov

The article describes the functions implemented by the information support system for the planning process, and presents its functional structure. The main modes of operation of the system, as well as the expected results of its use, are considered in detail.

Keywords: information support system, functional structure, function.

Burlakov Andrey Anatolyevich, Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, burlakov38@gmail.com, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications.

Skrybin Viktor Sergeevich, lecturer of the department, 3944550@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications.

Komarov Evgeny Vladimirovich, Candidate of Military Sciences, lecturer of the department, Associate Professor, komarovv53@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications

Pitenko Valery Aleksandrovich, senior lecturer of the department, valalpit@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications., Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications.

Morgunov Alexey Yakovlevich, Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, vchery@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications.

УДК 004.451.25

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-142-143

ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ

А.А. Бурлаков, В.С. Скрыбин, Е.В. Комаров, В.А. Питенко, А.И. Муравьев

В статье рассмотрены основные требования к формальной модели системы информационной поддержки процесса планирования. Описана модель информационного хранилища как формы представления системы информационной поддержки процесса планирования, модель управляющей оболочки хранилища с точки зрения реализации функций динамической информационной системы

Ключевые слова: процесс планирования, информационно-вычислительная поддержка, система информационной поддержки, формальная модель.

Для детального рассмотрения формальной модели системы информационной поддержки процесса планирования (СИППП) выделим следующие требования, которым должна удовлетворять данная модель [1]:

адекватность, заключающаяся в обеспечении требуемого сходства и полноты отображений объектов и их связей в модели с оригиналами;

соответствие целям исследования;

открытость – возможность модификации модели;

принцип иерархичности, заключающийся в том, что в модели отражаются естественные иерархические связи, которые позволяют вести поиск информации об определенном объекте, т.е. просматриваются не все объекты, а только объекты, непосредственно связанные с рассматриваемыми объектами.

Описание формальной модели СИППП зададим в виде: $M = I \cup O$, где I является моделью информационного хранилища СИППП, а O представляет модель управляющей оболочки СИППП. Очевидно, что от того, как будет представлено информационное хранилище и каким образом будет осуществляться управление им, зависит эффективность функционирования СИППП и всего информационного процесса в целом. Таким образом, актуальной становится задача формального представления СИППП в виде модели информационного хранилища, отражающей основные аспекты предметной области, и управляющей оболочки СИППП, позволяющей реализовывать в системе ее возможности.

Модель информационного хранилища СИППП задана множеством $I = \{A, S\}$, где A – множество информационных блоков; S – множество связей между ними. Информационный блок является элементарной единицей и содержит информацию по какому-либо конкретному вопросу планирования. Информационные блоки связаны между собой посредством связей, которые реализуют переход от одного объекта к другому.

Проблема представления информационного хранилища и взаимосвязи между отдельными его элементами, а также их эффективное использование для решения практических задач еще далека до полного разрешения. Это обстоятельство усложняет процесс выбора эффективного способа представления информации, а также требует преобразования представления информации из естественного для данной предметной области в допускаемое конкретным формализмом.

Необходимо отметить, что в общем случае модель представления данных о предметной области является формализмом, призванным отобразить статику и динамику предметной области, то есть отобразить объекты и связи между ними, иерархию объектов и изменение отношений между ними, а также закономерности выработки управляющих воздействий. В этом случае предметная область представляется совокупностью данных, содержащих информацию об объектах, к которым в статье относятся: исходные данные по планированию, методики работы должност-

ных лиц (ДЛ) в ходе планирования, документы планирования, расчеты ДЛ, а также данные, позволяющие реализовать процесс планирования в составе группы ДЛ [2].

В связи с этим при анализе информации о предметной области можно выделить множество A объектов информационного хранилища. В качестве информационного хранилища в статье выступает процесс планирования A_0 , а в качестве его объектов выделены пространства активности, отражающие основные аспекты процесса планирования, с которыми сталкиваются ДЛ в ходе его проведения. Это множество, являющееся первой (высшей) степенью иерархии, можно разбить на непересекающиеся множества A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 (вторая ступень иерархии), объекты каждого из которых обладают общими свойствами, отличающими их от объектов других подмножеств. При этом информационное хранилище разбивается с учетом выполнения следующих условий:

$$A_i \cap A_j = \emptyset, \text{ а } \bigcup_{i=1}^5 A_i = A_0,$$

где $i, j = 1, \dots, 5$ ($i \neq j$).

Тогда $A_0 = A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4 \cup A_5 = \bigcup_{i=1}^5 A_i$, т.е. каждый элемент множества A входит в одно из множеств A_i ($i=1, 2, 3, 4, 5$). Таким образом $\{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$ – разбиение множества A_0 .

Основное множество A делится на непересекающиеся подмножества A_1 (исходные данные), A_2 (методики работы), A_3 (документы планирования), A_4 (расчеты ДЛ в ходе планирования), A_5 (данные коллективной работы ДЛ). Предполагается, что свойства, характеризующие вышеперечисленные подмножества, позволяют четко отличить их от любых других и друг от друга.

Множества A_i , в свою очередь, можно разбить на непересекающиеся подмножества A_{ij} , объекты каждого из которых обладают свойствами A_i и свойствами, отличающими их друг от друга (от объектов множества A_{ik} ($k \neq j$)):

$$A_{ik} \cap A_{jp} = \emptyset, \text{ (} k \neq p; k, p = 1, 2, \dots, q),$$

$$\bigcup_{k=1}^q A_{ik} = A_i, \text{ (} i = 1, \dots, n).$$

Аналогичное деление множеств объектов на подмножества происходит до тех пор, пока не образуются конечные (нераспадающиеся – в данном рассмотрении) подмножества $A_{ij\dots p}$.

Используя представление данных и связи между ними в виде структурной иерархии информационных блоков, предлагается также ввести формализм в виде семантической сети, рассматриваемой в качестве модели предметной области, в которой понятия предметной области являются узлами сети, а связывающие их отношения – дугами сети.

Выбор данного формализма для представления данных в СИППП обусловлен следующими особенностями семантической сети [3]:

сеть соединяет в себе посредством семантических (ассоциативных связей S_d) данные и представляет структурные, логические, лингвистические, теоретико-множественные и процедурные связи;

сеть позволяет иметь как статические S_c , так и динамические S_d связи между узлами и имеет структуру, позволяющую осуществлять быстрый поиск информации;

сетевая структура позволяет представлять составные объекты;

сеть отображает связи между семантически близкими объектами и обеспечивает их прослеживание, отображает процессы формирования понятий;

в сети реализуются процессы выделения классов объектов и ситуаций, а также процессы формирования обобщенных определений этих классов;

сеть обладает развитыми ассоциативными свойствами, при формировании сети в ней возникает новая (вторичная) семантическая информация, явно не вводимая в сеть.

При этом важно отметить, что правила вывода для сети не фиксированы, и это позволяет в наибольшей степени учесть особенности предметной области.

Это составляет собственно знания системы о структуре предметной области, основных объектах, их взаимосвязях и группировках, что позволяет ДЛ выбирать нужную информацию, не только указывая конкретные объекты и их характеристики, но и описывая необходимые объекты, используя их связи с другими объектами. Семантика основных функций системы определяется характером взаимовлияния объектов, свойств, процессов и состояний.

Для задания семантических связей между понятиями используются отношения. Рассматриваются только бинарные отношения. Некоторые отношения предопределены: "есть", или $is - a$, связывает понятия с родовым; "имеет свойство", или $has - property$, связывает понятия с характеризующими их свойствами; "имеет значение", или $has - value$, задает множества возможных значений свойств. В каждом приложении могут использоваться специфические отношения. Для них задаются математические свойства: рефлексивность, транзитивность, симметричность и антисимметричность, учитываемые системой при интерпретации элементов базы данных. Важным свойством отношений является наследование по $is - a$ иерархии: из $A \in B$ и $B \in C$ следует, что $A \in C$, где A, B, C – блоки БД, r – наследуемое отношение. Примерами наследуемых отношений являются $has - property$ и $part - of$.

На рис. 1 изображен фрагмент структуры информационного хранилища СИППП, представленный двумя типами информационных блоков и образованными между ними связями, организованными как по иерархии, так и по семантическим отношениям между ними. Информационное пространство реальной СИППП будет значительно сложнее.

Таким образом, можно сделать вывод, что предлагаемая формальная модель информационного хранилища СИППП позволяет использовать метод поиска информационных блоков по связям, образованным в иерархической сети внутри каждого пространства активности, а также поиск по ассоциативным связям, организованным как внутри каждого подмножества информационных элементов, так и между блоками различных подмножеств. При этом связи СИППП можно рассматривать как совокупность двух видов: 1) статических, явно заданных в сети разработчиками СИППП и таких, 2) динамических, которые можно получить на основе некоторой процедуры вывода. С

формальной точки зрения способность системы оперировать с динамическими данными проявляется как способность выявить некоторые вершины и ребра, явно не заданные в семантической сети [4].

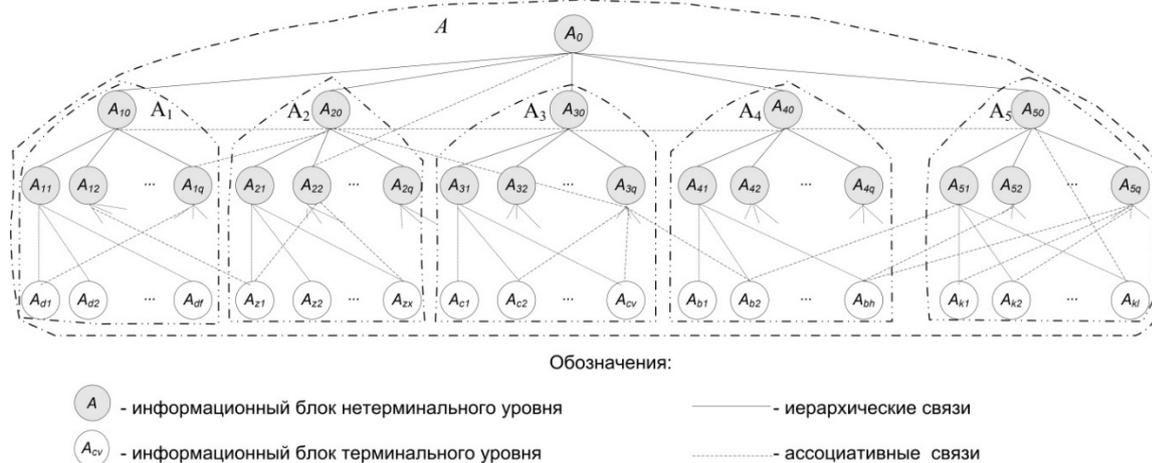


Рис. 1. Фрагмент информационной структуры СИППП

Представленный подход считается более перспективным, чем подход, при котором навигация в гиперпространстве к требуемому информационному блоку осуществляется только посредством продвижения пользователя по статическим связям.

В соответствии с принципом системности свойства и закономерности предметной области должны быть адекватно отображены в СИППП. Только в этом случае СИППП даст возможность ДЛ строить необходимые программы целесообразной деятельности на основании конкретной ситуации, отображенной в СИППП, складывающейся в конкретный момент функционирования системы, а также накапливать опыт работы с системой.

Исходя из этого, представим модель управляющей оболочки СИППП с точки зрения реализации функций динамической информационной системы, которую можно описать совокупностью следующих множеств:

$$O = \{X, Y, Q, f, G, q_0\},$$

где X – конечное множество входных сообщений; Y – конечное множество выходных сообщений; Q – множество состояний ГМСИП; f – функции, реализуемые системой, $Y = f(Q, X)$; G – функция переходов. $G: Q \times X \rightarrow Q \times Y$; q_0 – начальное состояние системы, $q_0 \in Q$.

В общем случае управляющая оболочка O воспринимает входные сообщения $X_i \in X$, выдает выходные сообщения $Y_i \in Y$, определенные функциями системы f , и переходит в новое состояние q_i , заданное функцией переходов G .

В понятие динамичности СИППП вкладывается эволюционный аспект, т.е. подверженность ее каким-либо изменениям, связанным с изменениями в составе и структуре информационного хранилища и управляющей оболочки.

В общем виде множество входных сообщений включает два подмножества:

$$X = X_{дл} \cup X_{пр},$$

где $X_{дл}$ – подмножество входных сообщений, получаемых от ДЛ (запросы на поиск информации в информационном хранилище); $X_{пр}$ – подмножество управляющих входных сообщений, необходимых для работы управляющей оболочки, поступающих от прикладных программ при их активизации.

Y – представляет собой множество выходных сообщений системы, которые адресованы ДЛ. Это – сообщения диалогового интерфейса, внутренние сообщения и инструкции программ, экранные формы представления данных, сообщения об ошибках и т.п.

Множество состояний, в которых может находиться:

$$Q = Q_{их} \times Q_{уо},$$

где $Q_{их}$ – подмножество состояний информационного хранилища; $Q_{уо}$ – подмножество состояний системы управляющей оболочки СИППП; q_0 – начальное состояние (информационного хранилища и управляющей оболочки) определяется кортежем

$$q_0 = \langle q_{их0}, q_{уо0} \rangle / (q_{их0} \in Q_{их}, q_{уо0} \in Q_{уо}).$$

Функция f является отображением декартова произведения множества состояний Q и множества входных сообщений X на множество выходных сигналов Y . Она реализуется комплексом программ, составляющих систему программного окружения информационного хранилища и системного программного обеспечения. Эта совокупность программ предназначена для управления конкретными компонентами системы обработки данных в целях выполнения алгоритма обработки определенного запроса.

Список литературы

1. Котенко И.В. Теория и практика построения автоматизированных систем информационной и вычислительной поддержки процессов планирования связи на основе новых информационных технологий. Монография. СПб.:DEC, 1998. 404 с.

2. Рунеев А.Ю. Организация космической связи. Методология и математические модели оценки эффективности. СПб.: ВАС, 1992.

3. Галов С.Ю., Кудрявцев А.М., Смирнов А.А. Применение аналитических методов при принятии решений: Учеб. пособие. – СПб.: ВАС, 2019. 110 с.

4. Карпов Е.А., Котенко И.В., Боговик А.В. и др. Основы теории управления в системах военного назначения. Часть 1. СПб.: ВУС, 2000. 194 с.

Бурлаков Андрей Анатольевич, канд. воен. наук, доцент, доцент кафедры, burlakov38@gmail.com, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи.

Скрябин Виктор Сергеевич, преподаватель кафедры, 3944550@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи.

Комаров Евгений Владимирович, канд. воен. наук, доцент, преподаватель кафедры, komarovv53@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи.

Питенко Валерий Александрович, старший преподаватель кафедры, valalpit@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи.

Муравьев Александр Иванович, преподаватель кафедры, muravjev.a1@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи.

**FORMAL MODEL OF THE INFORMATION SUPPORT SYSTEM
FOR THE PLANNING PROCESS**

A.A. Burlakov, V.S. Skrybin, E.V. Komarov, V.A. Pitenko, A.I. Muravyev

The article discusses the basic requirements for the formal model of the information support system of the planning process. The model of information storage is described as a form of representation of the information support system of the planning process, a model of the control shell of the storage from the point of view of the implementation of the functions of a dynamic information system

Keywords: planning process, information and computing support, information support system, formal model.

Burlakov Andrey Anatolyevich, Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, burlakov38@gmail.com, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications.

Skrybin Viktor Sergeevich, lecturer of the department, 3944550@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications.

Komarov Evgeny Vladimirovich, Candidate of Military Sciences, lecturer of the department, Associate Professor, komarovv53@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications

Pitenko Valery Aleksandrovich, senior lecturer of the department, valalpit@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications., Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications.

Muravyev Alexander Ivanovich, lecturer of the department, muravjev.a1@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДГОТОВКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

В.В. Птицын

При автоматизации умственного труда в машиностроении за счет применения искусственного интеллекта требуется конкретизация и автоматизация производственных функций и задач. В работе конкретизируются основные технологические функции и задачи при технологической подготовке (ТПП) и обеспечении (ТОП) производства. Автоматизация умственного труда в машиностроительном производстве заключается в замене (имитации) его искусственным интеллектом в технологическом процессе и управлении им. Нормативно умственные трудовые действия в составе конкретных трудовых функций закреплены в профессиональных стандартах специалистов. Направления технологических работ при подготовке и обеспечении производства обозначены комплексом взаимосвязанных государственных стандартов. Деятельность ТПП алгоритмируется, ТОП алгоритмируется не полностью. Продукт умственного труда ТПП является предметом умственного труда ТОП. Интеллектуальные возможности «живого труда» ранжируются в профессиональных стандартах специалистов.

Ключевые слова: интеллектуальная деятельность, машиностроительное производство, технология.

В национальной стратегии развития искусственного интеллекта обозначен период до 2030 г. и отмечается, что недостаточное развитие искусственного интеллекта «повлечёт за собой экономическое и технологическое отставание» [1].

Применение искусственного интеллекта в машиностроении потребует конкретизации и систематизации производственных функций и задач.

Цель работы: конкретизировать основные технологические функции при решении производственных задач машиностроения и обосновать отнесение их к подготовке или к обеспечению производства.

Решаемые задачи для достижения указанной цели в большей степени касаются технологической подготовки производства (ТПП) и технологического обеспечения производства (ТОП).

Производственные функции (вид деятельности человека), направлены на «создание экономического продукта или оказание услуги (выполнения работ), основаны на процессе активного преобразования материального и духовного мира» [2].

«Искусственный Интеллект – комплекс технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека (включая самообразование и поиск решений без заданного алгоритма) при выполнении конкретных задач» [1].

В производстве, в том числе и машиностроительном, это задачи, относящиеся к преобразованию духовного мира, объединены общей целью в составе определенных трудовых функций специалистов.

Когнитивные функции человека реализуются в результате «умственного труда: вида простого процесса труда (живого труда), преимущественно связанного с использованием интеллектуальных возможностей человеческого организма» [2].

Имитация простого процесса труда в машиностроении и приборостроении это исключение участия людей в технологическом процессе и управлении им за счет применения энергии неживой природы, то есть автоматизация живого труда [3]. Словосочетанию «автоматизация умственного труда» по сути соответствует термин «искусственный интеллект».

Описание нормативных умственных трудовых действий человека, соответствующих направлению и уровню производственного процесса содержится в описании трудовых функций профессиональных стандартов.

В профессиональных стандартах трудовые функции, объединенные общей целью в зависимости от объекта трудовой деятельности, разделены согласно квалификации исполнителей на уровни, обозначенные как «обобщенные трудовые функции». «Квалификация» искусственного интеллекта определяется возможностью и математическим обеспечением вычислительных машин.

От направления трудовой деятельности «живого» умственного труда зависит выбор математического обеспечения искусственного интеллекта.

В машиностроении и приборостроении направления трудовой деятельности, то есть работ, структурированы государственным стандартом [4].

Основные положения, структуру и организацию технологических работ машиностроения и приборостроения для обеспечения организационного, информационного и технического единства работ установлены комплексом взаимосвязанных государственных стандартов с присвоением шифра в зависимости от объектов [4].

Объектами стандартизации группы ТПП являются «основные принципы и организации работ по ТПП» – шифр группы 3. Группа ТОП – технологическое обеспечение установившегося производства охватывает «порядок организации работ по поддержанию (повышению) уровня стабильности технологии в установившемся производстве», группа 5[4].

Наименование групп и объектов стандартизации позволяют выделить направления технологических работ производственной деятельности: ТПП – создания продукции, ТОП – обеспечение установившегося производства.

Для отнесения различных видов производственной деятельности к подготовке или обеспечению производства рассмотрим более подробно оба направления технологических работ и решений.

ТПП – совокупность работ и мероприятий [5,6,7] или вид производственной деятельности [8], обеспечивающей технологическую готовность предприятия.

В перечисленных стандартах технологическая готовность определена подготовкой конструкторско-технологической документации и средств технологического оснащения для выпуска изделий.

Конкретные задачи при подготовке технологической документации относятся к интеллектуальной деятельности и описаны в профессиональном стандарте 40.031 [9] и других. Интеллектуальная деятельность, касающаяся подготовки технологического оборудования, заключается в поддержании работоспособного состояния оборудования, описана в профессиональном стандарте 40.225 [10]. Задачи подготовки технологической оснастки в первую очередь направлены на ее проектирование, а необходимые интеллектуальные трудовые действия описаны в профессиональном стандарте 40.052 [11].

Примечательно, что уровни квалификационного ранжирования при ТПП в профессиональных стандартах определяются сложностью предметов труда, в рассмотренных стандартах изделий и технологического оснащения (простые, сложные). Под изделием при интеллектуальной деятельности понимается информация о нем, а документация фиксирует результаты переработки информации, выполненную работу.

Порядок поиска решений при математическом моделировании ТПП упрощается применением типоразмерных рядов изделий, типовых технологических процессов и требований нормативной документации.

В машиностроении на государственном уровне подготовку к поиску решений с помощью искусственного интеллекта начали с включения в профессиональные стандарты специалистов обязанности применения и дополнения информационной систем: технологической подготовки производства (САР – системы), управления данными об изделии (PDM – системы), планирование ресурсов (GPR – системы) и других.

Результаты ТПП, то есть технологические и организационные решения по определению значения параметров и форм (порядка) соединения элементов производственного процесса, соответствуют «изготовлению заданного объекта в заданных условиях и с заданными характеристиками» [4].

ТОП установившегося производства – «Совокупность организационных и технологических мероприятий, направленных на поддержание качества и надежности технологических процессов и технологических систем в условиях установившегося производства» [6,7] или «уровня стабильности технологии» [4].

Предметы умственного труда ТОП являются результаты ТПП – окончательно отработанная информация конструкторско-технологической документации и средства технологического оснащения.

Интеллектуальные задачи ТОП — это поддержание качества, надежности и стабильности технологических процессов, по сути, управление действиями людей и орудий труда в производственном процессе при преобразовании материального мира на предприятии (в организации).

Совокупность основных задач «живой» деятельности ТОП описаны в трудовых функциях профессиональных стандартов «Специалист по оперативному управлению механосборочным производством» [12] и «Специалист по обеспечению механосборочного производства технологической оснасткой» [13] и других. В установившемся производстве используется только работоспособное оборудование, что обеспечивается трудовой деятельностью при ТПП.

Квалификационные уровни функций «живого труда» (обобщенные трудовые функции) в профессиональных стандартах ТОП определены структурно-производственным уровнем организации (участок, цех и т.д.)

Порядок поиска решений при ТОП плохо алгоритмируется и для искусственного интеллекта потребуются статистические методы управления процессами.

Вывод. Продукт умственного труда ТПП является предметом умственного труда ТОП. Основные функции умственного труда ТПП относятся к проектированию, ТОП – к управлению. Основные интеллектуальные возможности «живого» труда ранжируются по признакам объектов деятельности и описываются в обобщенных трудовых функциях специалистов.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации 10.10.2019 г. № 490. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации. Москва. Кремль. 10 октября 2019 г.
2. ГОСТ 12.0.002 - 2014 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения.
3. ГОСТ 23004 - 78 Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении. Основные термины, определения и обозначения. Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении. Основные термины, определения и обозначения.
4. ГОСТ Р50995.01 - 96 Технологическое обеспечение создания продукции. Основные положения.
5. ГОСТ 14.004 - 83 Межгосударственный стандарт "Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий".
6. ГОСТ Р57945 - 2017 Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 57945-2017 "Система технологического обеспечения разработки и постановки на производство изделий космической техники. Термины и определения".
7. ГОСТ Р59860 - 2021 Ракетно-космическая техника. Система технологического обеспечения создания и производства изделий. Основные положения.
8. ГОСТ Р50995.31 - 96 Технологическое обеспечение создания продукции. Технологическая подготовка производства.
9. Профессиональный стандарт 40.100. Специалист по инструментальному обеспечению механосборочного производства. 2015 г.
10. Профессиональный стандарт 40.225. Специалист по эксплуатации и ремонту технологического механосборочного производства. 2021 г.

11. Профессиональный стандарт 40.052. Специалист по проектированию технологической оснастки механосборочного производства. 2021 г.

12. Профессиональный стандарт 40.033. Специалист по оперативному управлению механосборочным производством. 2022 г.

13. Профессиональный стандарт 40.100. Специалист по обеспечению механосборочного производства технологической оснасткой. 2022 г.

Птицын Виктор Викторович, канд. техн. наук., доц., Россия, г. Тула, Тульский государственный университет, kamen1955@inbox.ru.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE, TECHNOLOGICAL PREPARATION AND PRODUCTION ENSURANCE

V.V. Ptitsyn

When automating mental labor in mechanical engineering through the use of artificial intelligence, it is necessary to specify and automate production functions and tasks. The paper specifies "the main technological functions and tasks in technological preparation (CCI) and provision (TOP) of production. Automation of intellectual labor in machine-building production consists in replacing (imitating) it with artificial intelligence in the technological process and managing it. Normative mental labor actions as part of specific labor functions are fixed in the professional standards of specialists. The directions of technological work in the preparation and maintenance of production are indicated by a set of interrelated state standards. The activity of the CCI is algorithmized, the TOP is not fully algorithmized. The product of the intellectual labor of the CCI is the subject of the intellectual labor of the TOP. The intellectual capabilities of "live labor" are ranked in the professional standards of specialists.

Keywords: intellectual activity, machine-building production, technology.

Ptitsyn Viktor Viktorovich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula state university, kamen1955@inbox.ru

УДК 623.451

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-148-149

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВЫСТРЕЛА В ТАРЕ НА НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫЙ НАГРЕВ

Д.Ф. Филиппов

Приведены результаты расчёта определения времени индукции реакции снаряжения артиллерийского выстрела на внешний нагрев, т.е. времени до самовоспламенения, взрыва взрывчатого вещества или пороха, а также провели сходимость полученных расчётов с экспериментальными данными быстрого нагрева выстрела ВОФ36 в деревянной таре.

Ключевые слова: артиллерийский выстрел, боеприпас, снаряд, метательный заряд, несанкционированное действие, быстрый нагрев, экспериментальные исследования.

Наиболее реальную картину стойкости боеприпасов (БП) к несанкционированным действиям (НСД) дают натурные испытания. Однако, прежде чем перейти к таким испытаниям, необходимо оценить поведение БП при возникновении аварийной ситуации (АС). С этой целью проведено моделирование и прогнозирование АС при несанкционированном нагреве выстрела ВОФ 36 на этапе хранения БП на основе усовершенствованной математической модели определения времени индукции реакции снаряда и МЗ в сгорающей гильзе (СГ) на тепловые НСД.

Несанкционированный внешний нагрев проявляется, в первую очередь, при пожарах. При этом условно могут наблюдаться два случая [1]:

- 1) пожар непосредственно вблизи БП (в хранилище или в носителе БП);
- 2) пожар за стенкой хранилища или носителя БП.

Первый случай классифицируется как быстрый нагрев БП, второй случай – медленный нагрев.

В реальности могут встречаться совершенно разные условия возникновения и протекания НСД в виде нагрева, поэтому необходима расчётная оценка и прогнозирование поведения БП в этих условиях.

Метательные заряды в гильзе, как правило, хранятся в таре вместе со снарядом (рис. 1).

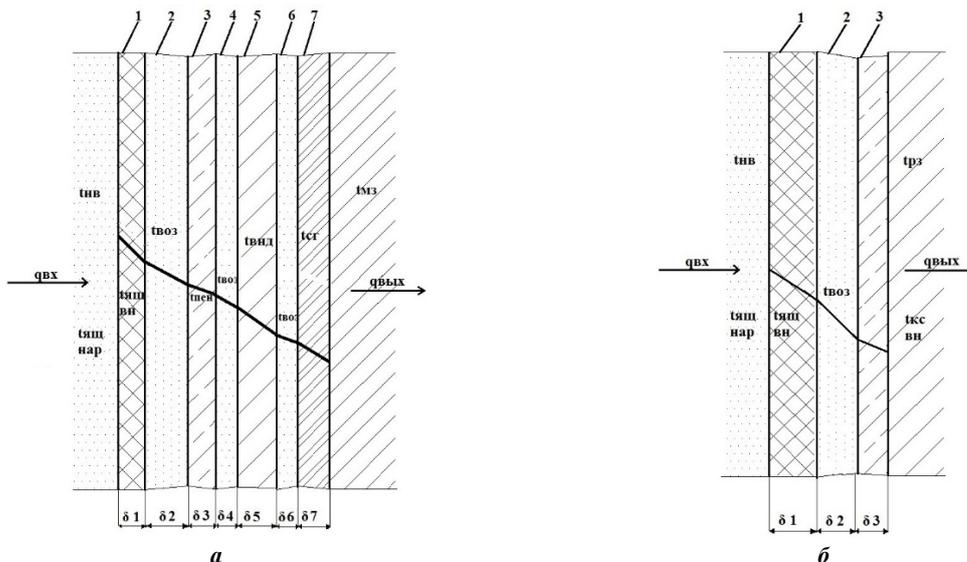
Сам МЗ, например, полный переменный заряд Ж40, размещен в металлическом пенале (рис.1). Заряд Ж40 для выстрелов с осколочно-фугасными снарядами собирается из порохов марок СГ+12/7+15/1ТрВ/А+ВТХ-20+ДРП. Общая масса заряда составляет 5,8 кг.

Разрывной заряд снаряда, как правило, представляет собой бризантный взрывчатый состав (ВС), размещённый в корпусе БП без взрывателя. Взрывчатый состав непосредственно контактирует с внутренней стенкой снаряда, поэтому в качестве допущения можно принять температуру внутренней стенки снаряда равной температуре ВС.

При расчёте определения времени индукции реакции снаряжения БП на внешний нагрев, т.е. времени до самовоспламенения, взрыва ВВ или пороха, необходимо составить схемы теплопередачи от нагретого воздуха (НВ) к снаряжению БП (рис. 2).



Рис. 1. 125-мм выстрел ВОФ36 в таре



а
схема теплопередачи для метательного заряда

1 – тара; 2 – воздух; 3 – пенал; 4 – воздух;
5 – вставка; 6 – воздух; 7 – СГ

б
схема теплопередачи для снаряда

1 – тара; 2 – возд. прослойка
3 – корпус снаряда

Рис. 2. Расчётная схема теплопередачи от нагретого воздуха к взрывчатому составу

При проведении моделирования и прогнозирования аварийных ситуаций артиллерийских выстрелов, хранящихся в таре (ящике), при несанкционированном нагреве были использованы следующие исходные данные [2]:

- характеристики всех элементов выстрела;
- температура реакции (тепловая стойкость) штатных порохов 12/5 и 15/1 T_p В/А $t_p = 175$ °С;
- температура реакции (тепловая стойкость) сгорающей гильзы $t_p = 188$ °С;
- температура реакции (тепловая стойкость) штатного ВВ А-IX-2 $t_p = 220$ °С;
- время несанкционированного действия (время, необходимое для прибытия боевого расчёта пожарной машины и локализации очага пожара) $\tau_{возд} = 900$ с.

При проведении расчётов получены следующие результаты нагрева выстрела в таре отражённые в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Результаты расчёта нагрева метательного заряда в таре

Температура стенки СГ	Значения температур стенок метательного заряда при внешнем нагреве, °С											
	Время нагрева, с											
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
$t_{сг}$	25	52	73	94	113	131	146	165	182	201	212	225

Таблица 2

Результаты расчёта нагрева снаряда в таре

Температура стенки корпуса снаряда	Значения температур стенок снаряда при внешнем нагреве, °С											
	Время нагрева, с											
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
$t_{кс\text{ вн}}$	23	48	80	146	167	176	182	191	229	232	241	259

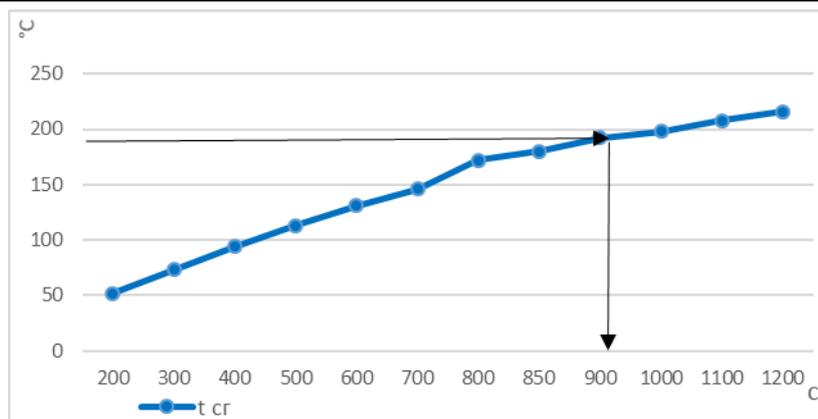


Рис. 3. Зависимости роста температур стенок гильзы при внешнем нагреве

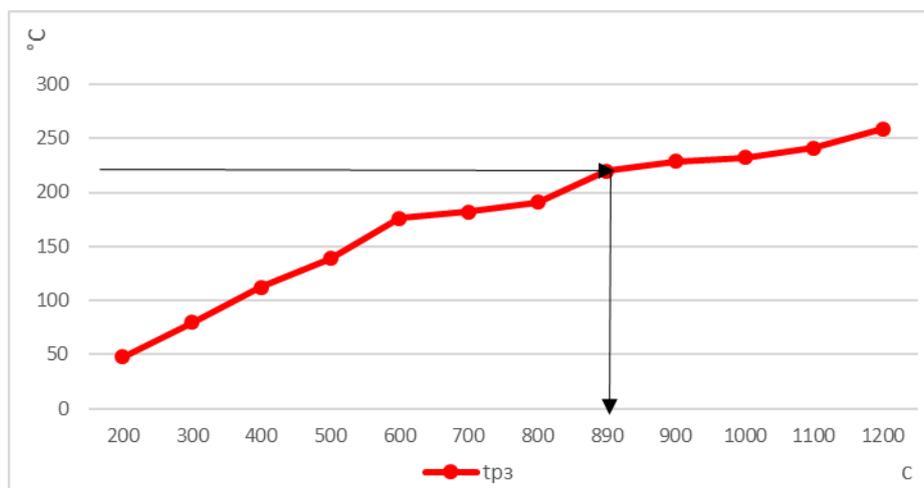


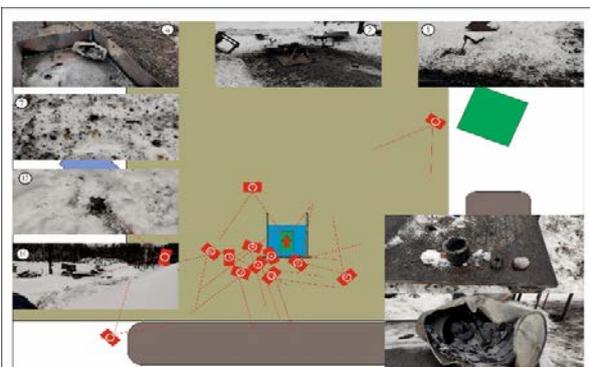
Рис. 4. Зависимости роста температур стенок снаряда при внешнем нагреве

Результаты расчёта показывают, что время реакции МЗ равно 15,3 мин (918 с). За это время температура пороховых элементов, контактирующих со сгорающей гильзой, достигнет критического значения, равного 188 °С (рис. 3). При этой температуре сгорающая гильза воспламеняется, что приводит к реакции пороха. Реакция разрывного заряда, контактирующего с корпусом снаряда произойдёт через 14,5 мин (890 с) (рис. 4).

С целью установления определения времени до реакции элементов БП были проведены экспериментальные исследования быстрого нагрева артиллерийского выстрела 125-мм выстрела ВОФ36 в деревянной таре (рисунок 5). Эксперимент проводился на полигоне АО «ГосНИИМаш» г. Дзержинск.



боеприпас в таре на установке быстрого нагрева до проведения испытания



установка быстрого нагрева после реакции выстрела

Рис. 5. Экспериментальные исследования порядка реагирования выстрела ВОФ 36 быстрым нагревом

В ходе эксперимента регистрирующей аппаратурой получено изменение температуры в различных точках тары и элементов БП, регистрируемое термопарами (рис. 6).

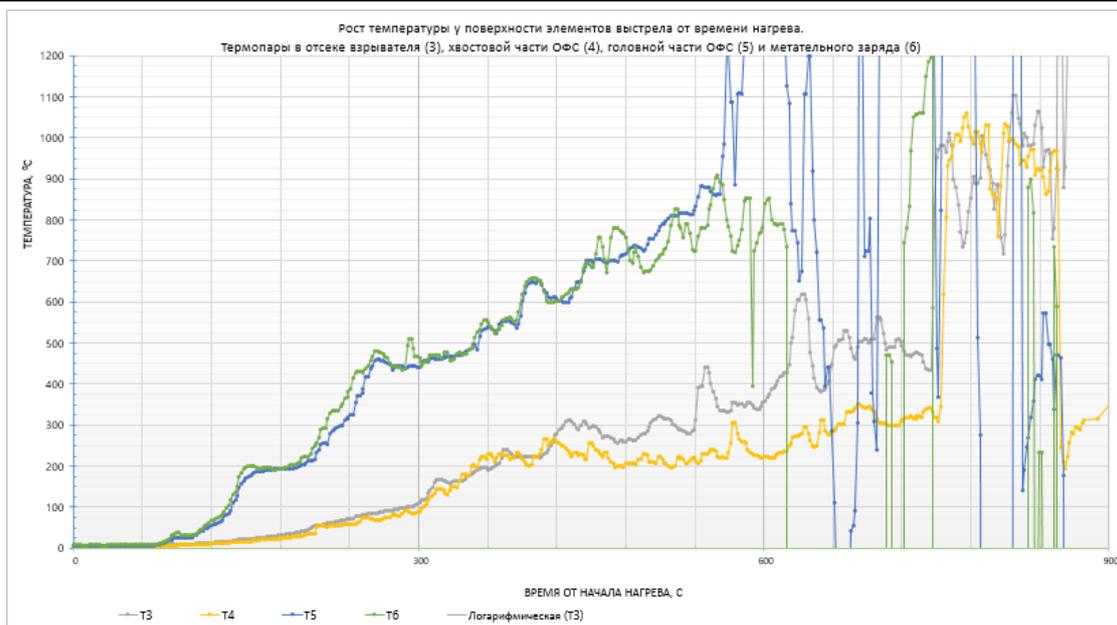


Рис. 6. Регистрация температуры внутренней стенки корпуса и сгорающей гильзы

Эксперимент показал, что первым отреагировал на быстрый нагрев осколочно-фугасный снаряд, снаряженный взрывчаткой А-IX-2. Время реакции после воспламенения жидкого углеводородного топлива составило 14 мин 10 с, через 36 с среагировал метательный заряд.

Таблица 3

Расчётные и экспериментальные данные

Исходные данные		Время реакции элементов выстрела, с	
Боеприпас: ВОФ36	Критическая температура реакции, °C	Результаты расчёта, с	Результаты эксперимента, с
Метательный заряд Ж40	175	918	886
Снаряд ОФ26	220	890	850

Таким образом, по результатам проведённой работы можно сделать следующие выводы:

- 1) имеются незначительные расхождения расчётных и экспериментальных данных, что видно на графиках регистрации температур. Однако из графика видно, что существует хорошее согласование результатов расчёта на первоначальном этапе эксперимента;
- 2) необходимо продолжить работу по повышению тепловой стойкости БП с проведением натурных испытаний с БП снаряженными малочувствительными взрывчатыми составами в огнестойкой полимерной таре.

Список литературы

1. Мацевич Б.В. Боеприпасы повышенной стойкости к опасным внешним воздействиям: особенности конструирования, испытаний и эксплуатации / Б.В. Мацевич [и др.]. Красноармейск: ОАО «КНИИМ», 2014. 168 с.
2. Терентьев А. Б. Основы проектирования, производства и испытаний боеприпасов и их элементов. В 3 ч. Ч. 3. Основы производства и испытания энергонасыщенных материалов / А. Б. Терентьев [и др.]. Пенза: Филиал ВА МТО, Пенз. арт. инж. ин-т, 2020. 426 с.

Филиппов Дмитрий Фёдорович, адъюнкт кафедры (порохов и взрывчатых веществ), filippov.dima@mail.ru, Россия, Пенза, филиал Военной академии материально-технического обеспечения

CALCULATION OF THE REACTION TIME OF AN ARTILLERY SHOT IN A CONTAINER TO UNAUTHORIZED HEATING

D.F. Filippov

The results of calculating the determination of the induction time of the reaction of artillery shot equipment to external heating, the time before spontaneous ignition, explosion of an explosive substance or gunpowder, are the convergence of the calculations obtained with experimental data on rapid heating of a shot in a wooden tarv was carried out.

Key words: artillery shot, ammunition, projectile, propellant charge, unauthorized action, rapid heating, experimental research.

Filippov Dmitry Fedorovich, associate professor of the department (gunpowders and explosives) filippov.dima@mail.ru, Penza, Russia, branch of the Military Academy of Logistics

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТ В ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: РАЗВИТИЕ, ТЕХНОЛОГИИ, ИНТЕГРАЦИЯ НОВОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

О.А. Субботенко, Е.А. Сазонова, В.М. Юдицкий

В статье освещаются история и применение интеллект-карт в информационно-аналитических задачах. Рассматривается эволюция инструмента от зарождения идеи у Тони Бьюзена до широкого использования в корпоративной среде. Подчеркивается значимость интеллект-карт в структурировании и визуализации сложной информации для обеспечения более эффективного анализа данных.

Ключевые слова: интеллект-карта, визуализация данных, аналитические инструменты, программное обеспечение, корпоративная среда, образование, XMind, Coggle, MindMeister.

В последние десятилетия информационные технологии стали неотъемлемой частью аналитической работы в различных сферах. Однако, с ростом объема данных и их сложностью, встает проблема эффективной их обработки и визуализации. В ответ на этот запрос развиваются инструменты, способные представить информацию в понятной и легкодоступной форме. Одним из таких инновационных инструментов является интеллект-карта.

Изучение нового материала часто сопровождается забыванием. Однако исследование ученых из Королевского колледжа в Лондоне показывает, что составление интеллект-карт способствует укреплению связей между идеями, явлениями и объектами, помогая мозгу усваивать информацию более эффективно [6]. Это может быть полезно, например, при подготовке к экзамену, позволяя запомнить материал быстрее.

Структурирование сложного материала с помощью карты делает процесс усвоения информации более доступным и быстрым. Например, изучение языка программирования Python может казаться запутанным. Однако, разбив его на тематические блоки, он становится более усвояемым, снижая барьер для начала обучения. Использование интеллект-карт позволяет оценить объем работы и реальную сложность проекта. Разбив сложные задачи на этапы и конкретные задачи с определенными сроками, можно лучше понять масштаб задачи и составить план действий. Интеллект-карты могут также служить удобным хранилищем информации, заменяя конспекты. Например, они могут быть использованы для систематизации информации о политических выборах, избирательных округах, включая данные о кандидатах. Этот инструмент способствует формированию ассоциативного мышления и помогает выявить нестандартные идеи. Они позволяют визуализировать образы и детали, что стимулирует поиск новых идей и ассоциаций, улучшая процесс восприятия окружающего мира [3].

Стоит ввести понятие «интеллект-карта», которое представляет собой графический инструмент для визуализации и организации информации в форме иерархической структуры. Этот метод концентрирует основные концепции, идеи или задачи в центре, вокруг которых связаны дополнительные элементы, создавая визуальную модель связей, зависимостей и ассоциаций. Они являются результатом неформализованной аналитической деятельности, позволяющей организовать разрозненные данные в логическую структуру, облегчая понимание сложных концепций.

Неформализованная аналитическая деятельность – это процесс оценки, анализа и интерпретации информации, который не подчинен строгим методам или алгоритмам. Она основана на креативности и интуиции, позволяя исследователям и аналитикам раскрывать новые связи и представлять данные в нестандартной форме. В этом контексте интеллект-карты выступают как инструмент, способствующий систематизации и визуализации мыслей, а также стимулирующий творческое мышление при анализе информации.

Когда речь заходит об основополагающих идеях создания интеллект-карт, важно отметить, что их концепция базируется на понимании того, как человеческий мозг организует информацию. Исходя из этого, интеллект-карты, разработанные Тони Бьюзеном, стремятся эмулировать естественный процесс мышления, используя древовидную структуру для представления информации.

Центральной идеей интеллект-карт является представление основной темы или концепции в центре, а от нее отходят ветви, представляющие подтемы или связанные идеи. Эта древовидная структура позволяет организовать информацию и визуально отображать связи между различными элементами.

Интеллект-карты стремятся отразить способ, которым человеческий мозг ассоциирует и связывает информацию [1]. Они способствуют более эффективному запоминанию и пониманию, поскольку визуальное представление данных облегчает их восприятие, также стоит отметить, что интеллект-карты способствуют улучшению коммуникации и взаимодействия в коллективе, поскольку представление информации в визуальной форме делает её более доступной и понятной для различных участников процесса анализа.

Кроме того, эти карты поддерживают идею, что мышление нелинейно и ассоциативно. Они позволяют пользователям свободно перемещаться по различным частям карты, открывая новые связи и пересматривая информацию с разных ракурсов.

Важно отметить, что интеллект-карты не только улучшают организацию данных, но и стимулируют творческое мышление. Этот инструмент позволяет легче выявлять новые идеи, находить неочевидные связи, решения задач, помогает в структурировании данных, что полезно при решении сложных задач или планировании проектов [9].

Интеллект-карты, уникальный инструмент визуализации информации, имеют свои корни в работе Тони Бьюзена, выдающегося британского психолога и автора, который сыграл значительную роль в формировании концепции интеллект-карт. Ещё тогда он ввёл первое понятие «мыслительные карты» в 70-х годах прошлого века [3]. О новом методе он старался рассказывать всем своим читателям не только в книгах, но и на личных встречах,

лекция и семинарах. Эта методика представляет данные в виде графической структуры, связывающей ключевые идеи, понятия и взаимосвязи между ними. Интеллект-карты позволяют визуализировать концепции, упрощая их понимание и запоминание.

Популяризация и широкое применение интеллект-карт началось лишь в последующие десятилетия, после того как Тони Бьюзен выпустил первую свою работу весной 1974 года «Работай головой». В образовательной сфере интеллект-карты применялись для облегчения процесса обучения и запоминания материала. Например, студенты стали использовать карты для систематизации учебного материала по разным дисциплинам, что способствовало более глубокому усвоению информации и развитию творческого мышления. В научных исследованиях интеллект-карты нашли применение для организации информации и анализа данных. Ученые использовали их для визуализации концепций, систематизации литературы по теме исследования, что способствовало более эффективному исследованию и выводам. Программное обеспечение для создания интеллект-карт также начало эволюционировать.

Не осталось в стороне от использования интеллект-карт и информационно-аналитическая деятельность. Фактически, интеллект-карты стали незаменимым инструментом в различных областях работы информационно-аналитических подразделений: корпоративная среда, государственное обеспечение, научные исследования. В бизнесе интеллект-карты начали использоваться для планирования проектов, разработки стратегий и управления временем. Они позволяли наглядно представлять ключевые аспекты бизнес-процессов, выявлять связи и зависимости между различными элементами, что помогало компаниям принимать более обоснованные решения. Примером такого использования является компания «Хегох», которая внедрила интеллект-карты для организации большого объема информации и сбора идей от сотрудников [4]. С появлением новых технологий в двадцать первом веке, таких как облачные вычисления и коллективная работа в реальном времени, приложения для создания карт становятся более доступными, интуитивно понятными и функциональными.

Использование технологии интеллект-карт в военных операциях стало значимым элементом планирования, стратегического анализа и принятия решений в военной сфере. Примером успешного использования интеллект-карт в военных операциях является их применение в операции «Иракская свобода». В ходе этой кампании интеллект-карты использовались для анализа территории, определения стратегически важных точек, планирования маршрутов передвижения войск и определения приоритетов по установлению контроля в различных регионах. Эти карты обеспечили командование четкой и визуальной представлением о сложившейся ситуации, что существенно облегчило принятие решений и планирование тактики действий. Еще одним примером является использование интеллект-карт в операции «Enduring Freedom» в Афганистане [1]. Они применялись для выявления мест возможного скрытого размещения боевиков, обозначения маршрутов и географических особенностей рельефа, что существенно улучшило понимание ситуации на местности и повысило эффективность тактических операций.

Эти примеры являются лишь небольшой частью использования интеллект-карт в различных сферах. Они демонстрируют не только важность этого инструмента в планировании и анализе, но и его способность существенно повысить оперативность и эффективность принятия решения как для личных целей, так и для целого государства.

Известным исследователем в области интеллект-карт, помимо Тони Бьюзена, является Джозеф Новак. Он является сооснователем инструмента интеллект-карт и проработал принципы создания этой методологии в своей работе, сосредотачиваясь на том, как люди понимают информацию и обучаются [2]. В своих исследованиях он акцентировал внимание на том, как можно улучшить образовательные процессы через использование понятийных карт, подчеркивая их важность для организации и структурирования знаний.

Еще одним значимым ученым, внесшим вклад в развитие интеллект-карт, является Пол Маклир. Он активно исследовал применение этого инструмента в образовательной сфере, особенно в обучении студентов, и выделял важность использования интеллект-карт для стимулирования мыслительного процесса и улучшения запоминания информации. Маклир подчеркивал, что создание интеллект-карт может способствовать развитию критического мышления и повышению продуктивности в обучении. Результаты исследований Пола Маклира демонстрируют, что интеллект-карты способствуют более глубокому освоению учебного материала, активизации мыслительных процессов и помогают студентам структурировать знания, что в свою очередь повышает эффективность образовательного процесса.

Дэвид Рамптон это еще один из ученых, чей вклад в изучение интеллект-карт является также значимым [8]. Он проводил исследования, посвященные визуальному мышлению и его влиянию на аналитические процессы. Рамптон уделял внимание влиянию интеллект-карт на эффективность принятия решений и смысловое восприятие информации, подчеркивая их роль в улучшении процесса принятия решений в различных областях, от бизнеса до образования.

Кроме того, Фредерик Дж. Тейлор, известный американский ученый и педагог, также внес существенный вклад в изучение интеллект-карт и их применение в образовании. Он разработал методику «семантических сетей», которая стала предвестником современных интеллект-карт. Тейлор подчеркивал значимость использования графических средств для представления и организации информации, способствуя улучшению запоминания и понимания материала студентами [7].

Майкл Полл был одним из немногих ученых, который фокусировался на исследованиях методов обучения и запоминания с использованием интеллект-карт, выявляя их эффективность в улучшении памяти и организации информации. Полл проводил эксперименты и анализировал результаты, подчеркивая значимость визуального представления информации для оптимизации процессов обучения и запоминания.

Важно отметить исследования Тимоти Кейна, который внес существенный вклад в понимание и использование интеллект-карт в области информационных технологий и управления проектами. Кейн углубился в аспекты эффективного использования интеллект-карт в рамках различных проектов, выявив их способность улучшать коммуникацию, управление информацией и качество принимаемых решений.

Одним из ведущих специалистов в области педагогики и использования интеллект-карт в образовании была Линда Ходгес. Ее исследования показали, как интеллект-карты могут быть эффективно использованы для поддержки процессов обучения, стимулирования творческого мышления и развития навыков критического анализа.

Исследования ученых, таких как Новак, Маклир, Рамптон, Тейлор, Полл, Кейн и Гарднер, расширили область знаний о применении интеллект-карт. Их работы пролили свет на различные аспекты использования карт и позволили понять их значимость для образования, управления, коммуникации и процессов принятия решений. Эти исследователи сделали значительный вклад в расширение знаний о визуальном представлении информации и стимулировании мыслительных процессов [5].

В современном информационном обществе визуализация данных становится неотъемлемой частью работы с информацией. Одним из важных инструментов визуализации и структурирования информации являются интеллект-карты. Эффективное создание и использование таких карт требует современных инструментов, способных сочетать удобство использования с широким спектром функций. Обзор существующих средств для создания интеллект-карт представляет актуальную и значимую тему, позволяющую оценить и сравнить доступные инструменты в данной области [1].

Сравнительная характеристика современных сервисов

Название сервиса	Достоинства	Недостатки
MindMeister	Работа в реальном времени	Ограниченные возможности бесплатной версии
XMind	Широкий выбор шаблонов и элементов дизайна	Не всегда интуитивный интерфейс
MindManager	Функциональность по управлению проектами и данными	Требует времени на освоение из-за множества функций
Coggle	Простой и удобный интерфейс для коллективной работы	Ограниченные функциональные возможности

MindMeister является одним из популярных инструментов для создания интеллект-карт онлайн. Этот веб-сервис позволяет пользователям создавать, редактировать и обмениваться картами в режиме реального времени. MindMeister предлагает разнообразные функции, такие как добавление изображений, файлов и гиперссылок, что обогащает визуальное представление данных. Среди преимуществ MindMeister можно выделить его простоту использования. Сервис обладает интуитивно понятным интерфейсом, что позволяет пользователям быстро освоиться с инструментом даже без специальных навыков. Также MindMeister предлагает возможность работы в режиме реального времени, что упрощает коллективное создание и редактирование карт, стимулируя совместную работу над проектами. Кроме того, сервис позволяет добавлять разнообразные элементы, такие как изображения, файлы и гиперссылки, что обогащает интеллект-карты и делает их более информативными. Однако, среди недостатков MindMeister можно выделить ограниченный бесплатный функционал. Большинство расширенных функций доступны только в платных версиях, что может ограничить возможности пользователей, особенно при работе над более сложными проектами. Также, несмотря на доступность онлайн-режима, MindMeister требует стабильного подключения к интернету, что может быть ограничивающим фактором при работе в условиях с ограниченным или нестабильным интернетом [2].

XMind – еще один известный сервис, предлагающий широкий выбор возможностей для создания интеллект-карт. Этот инструмент позволяет структурировать информацию, использовать различные шаблоны и добавлять элементы дизайна для более эффективной визуализации данных. Одним из плюсов XMind является наличие разнообразных шаблонов, что позволяет пользователям выбирать подходящий стиль и структуру для своих карт в зависимости от целей и задач. Кроме того, программа предоставляет обширный набор инструментов для редактирования, включая возможность добавления изображений, гиперссылок, аудио и видео файлов, что обогащает информацию на карте. XMind также обладает функцией совместной работы, позволяя нескольким пользователям одновременно редактировать карты в реальном времени через интернет. Это делает его отличным выбором для командной работы над проектами. Однако, среди минусов XMind можно выделить ограниченные возможности в бесплатной версии программы. Некоторые продвинутые функции доступны только в платных версиях, что может ограничивать пользователей в использовании определенных инструментов и возможностей [6].

MindManager - программное обеспечение, специализирующееся на создании интеллект-карт для более продуктивной работы с информацией. Оно обладает функциональностью по организации данных, управлению проектами и коллективной работе. Одним из плюсов MindManager является его многофункциональность. Программа предлагает различные инструменты для визуализации данных, включая разнообразные шаблоны, стили и возможности добавления изображений, ссылок и файлов. Это позволяет пользователям создавать информативные и привлекательные интеллект-карты. MindManager также обладает функциональностью управления проектами. Он позволяет создавать задачи, устанавливать приоритеты, назначать сроки и отслеживать прогресс. Это делает программу полезной для планирования и координации проектных задач. Однако у MindManager есть и некоторые минусы. Программа имеет относительно высокую стоимость, что может сделать её менее доступной для широкого круга пользователей. Кроме того, для некоторых начинающих пользователей интерфейс MindManager может показаться сложным и требующим времени на освоение всех функций [5].

Coggle представляет собой простой и удобный онлайн-инструмент для создания коллективных интеллект-карт. Он позволяет пользователям делиться картами с другими пользователями для совместной работы над проектами. Одним из основных преимуществ Coggle является его доступность онлайн, без необходимости установки дополнительного программного обеспечения. Это позволяет пользователям легко обмениваться и редактировать карты с другими участниками проекта, делая процесс совместной работы более гибким и удобным. Сервис обладает интуитивно понятным пользовательским интерфейсом, предоставляющим возможности добавления текста, изображений и гиперссылок на узлы карты. Это делает Coggle удобным инструментом для визуализации и структурирования информации [3]. Однако, у Coggle есть и некоторые ограничения. Например, в бесплатной версии

ограничен объем доступного хранилища и функциональные возможности. Для получения дополнительных функций, таких как экспорт в другие форматы или работа оффлайн, требуется оформить подписку.

Каждый из этих сервисов имеет свои сильные и слабые стороны, и выбор зависит от конкретных потребностей пользователя: от предпочтения режима работы в реальном времени до удобства использования для коллективной работы или управления проектами.

Рассмотрим программный продукт «МыслеФорма», разработанный авторами статьи, как альтернативу зарубежным сервисам для создания интеллект-карт. Этот инструмент представляет собой важное средство для визуализации информации и организации данных, обладая функциональностью, сопоставимой с зарубежными аналогами.

Существенные недостатки, выделенные при обзоре сервисов по созданию интеллект-карт, были решены в настоящем программном продукте. Возможность творческого подхода по созданию карт был реализована на максимальном уровне. Предлагаемое приложение представляет собой мощный инструмент для создания интеллект-карт с широким спектром функциональности. Оно обладает способностью загружать готовые карты в формате JSON, что обеспечивает удобство работы с существующими проектами.

Рассмотрим его основные характеристики, достоинства и преимущества перед иностранными сервисами в контексте создания интеллект-карт.

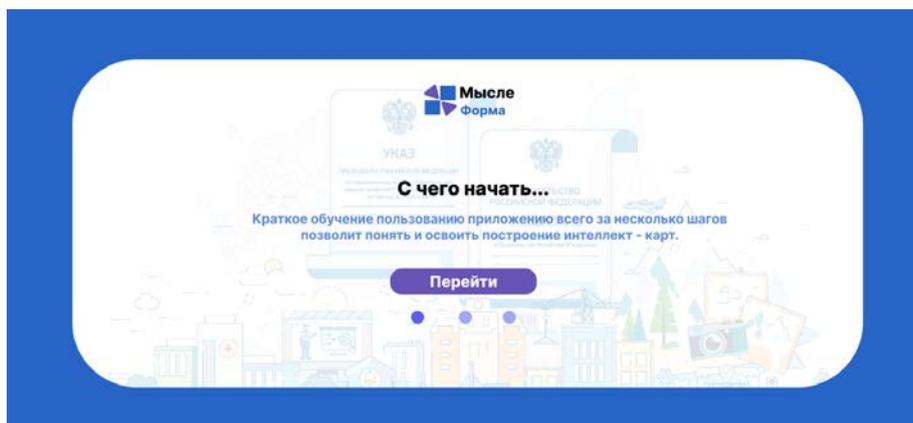


Рис. 1. Главное окно программного продукта «МыслеФорма»

Прежде всего стоит отметить, что главное окно программы (рис. 1) показывает три основные вкладки для работы: краткую информацию об основных возможностях, работу с редактором, контрольный пример.

Основной функционал программы включает создание графических элементов и фигур, предоставляя пользователю возможность формировать и структурировать информацию в соответствии с его потребностями. Каждый элемент, будь то узел или связь, может быть подробно настроен и отредактирован, что позволяет создавать индивидуальные карты согласно предпочтениям пользователя. Программа также обеспечивает широкие возможности экспорта созданных карт: сохранение изображения в форматах PNG и Word, что позволяет легко интегрировать карты в различные документы. Кроме того, формат JSON для сохранения карты дает возможность последующей работы с проектом в других приложениях, обеспечивая гибкость в управлении данными. Стоит отметить, что у каждой связи имеется расширенное описание, также имеется возможность убрать анимацию, нажав на соответствующий тумблер, для более точной настройки карты. Также данный программный продукт обладает уникальной возможностью функционировать независимо от доступа в интернет. Благодаря встроенным механизмам хранения данных локально на устройстве пользователя, он обеспечивает стабильную и надежную работу в условиях отсутствия подключения к сети. Это позволяет пользователям использовать программу даже в местах с ограниченным или отсутствующим интернетом, не потеряв при этом функциональность и эффективность инструментов, предоставляемых данным программным продуктом.

Одной из ключевых особенностей является отображение графиков, позволяющих визуально оценить структуру и связи в интеллект-карте. Приложение также предоставляет функцию изменения отображения на органограмму, что улучшает визуализацию и понимание структуры данных, делая ее сугубо древовидной. Кроме того, функционал программы включает отображение графиков количества связей, что обеспечивает возможность анализа и визуализации взаимосвязей между элементами карты. Также для помощи пользователям имеется подробное описание каждого действия и инструмента.

Все эти возможности делают предложенное приложение мощным инструментом для создания, редактирования и визуализации интеллект-карт, обеспечивая пользователям гибкость и широкий функциональный набор для работы с данными.

Для демонстрации функционала программного продукта «МыслеФорма» был подготовлен контрольный пример, иллюстрирующий его возможности. В данном примере создана интеллект-карта, отражающая структуру факторов, влияющих на смертность в регионах Российской Федерации. На карте присутствуют графические элементы и фигуры, представляющие ключевые этапы проекта, а также связи между ними, отражающие взаимосвязи и зависимости между этапами разработки. Каждый элемент имеет детальное описание и редактируемые параметры, позволяющие настроить информацию согласно специфике проекта.

Прежде всего необходимо выбрать вкладку интеллект-карта (рис. 1) и перейти в окно редактора (рис. 2), в котором есть все необходимые кнопки для того, чтобы приступить к созданию интеллект-карты.

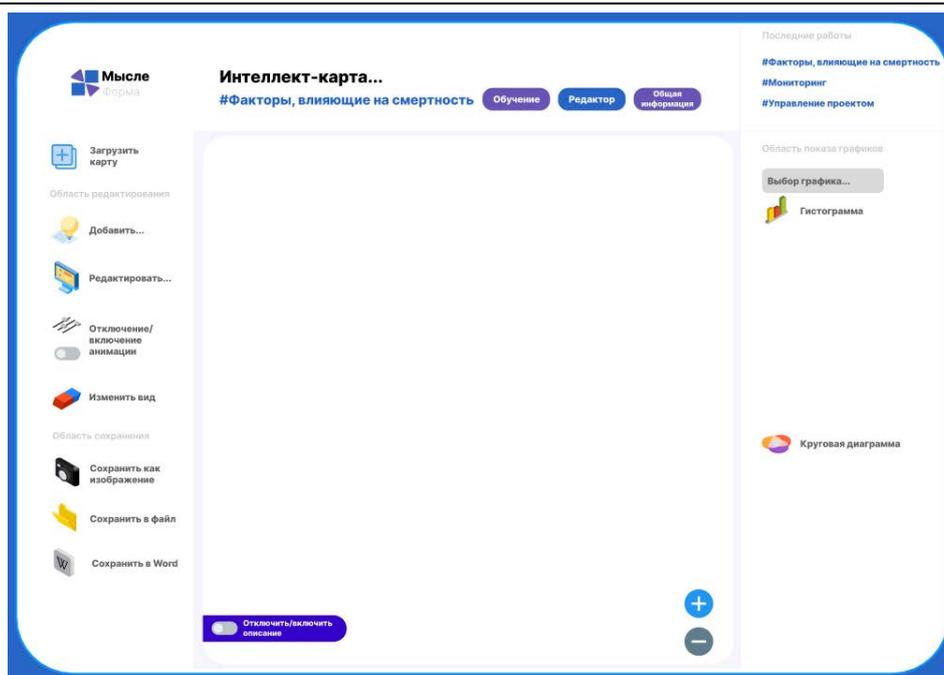


Рис. 2. Окно редактора программного продукта «МыслеФорма»

Необходимо определиться с основными узлами и связями, которые будут присутствовать в нашей интеллект-карте. В нашей системе, главным узлом будет смертность, а ее подгруппы будут дети, взрослые и пожилые соответственно. У узла «Дети» разделение будет производиться *до 1 года* и *от 1 года до 18 лет*. Узел *до 1 года* будет иметь следующие подузлы: родовые травмы, нарушение плода у новорожденного, внешние причины смерти, болезнь органов пищеварения, септицемия. Узел *от 1 года до 18 лет* будет иметь следующие подузлы: врожденные аномалии, болезнь органов дыхания, инфекционные заболевания, внешние причины, болезнь органов пищеварения, covid-19.

У узла «Взрослые» разделение будет производиться на *внутренние причины* и *внешние причины*. Узел *внешние причины* будет иметь следующие подузлы: случайное отравление (алкоголь), самоубийство, убийство, ДТП, психические расстройства. Узел *внутренние причины* будет иметь следующие подузлы: болезнь системы кровообращения, новообразования, болезнь органов дыхания, болезнь органов пищеварения, инфекционные заболевания (ВИЧ, туберкулез), болезнь мочеполовой системы, болезнь нервной системы, болезни глаз, болезнь уха, болезнь эндокринной системы, болезнь крови, болезнь кожи, материнская смертность, covid-19.

Узел «Пожилые» будет иметь следующие подузлы: болезнь мочеполовой системы, болезнь нервной системы, болезнь эндокринной системы, старость, covid-19.

После этого необходимо приступить к созданию нашего первого элемента. Для этого предварительно необходимо загрузить графические элементы по количеству наших узлов или можно установить узлы в качестве фигур. Необходимо нажать на вкладку «Добавить...», после этого открывается список действий, нажимаем на кнопку «Добавить картинку», указываем путь к заранее подготовленной папке, где лежат все необходимые материалы для узлов. После появления узла в поле, необходимо изменить имя, заданное программой, для этого нужно перейти во вкладку «редактировать», затем нажать на кнопку «редактировать имя», откроется поле для редактирования имени, впишем «Смертность». Далее аналогичным образом добавляем три других подузла: дети, взрослые, пожилые. После этого необходимо приступить к добавлению связей между узлом «Смертность» и тремя другими подузлами, для этого необходимо нажать сначала на подузел к которому должна идти связь, допустим «Взрослые», затем нажать на главный узел «Смертность», затем снова нажать на подузел «Взрослые», после этого образуется связь. Важно отметить, что данный алгоритм добавления связей очень важен, так как в дальнейшем это повлияет на графики интеллект-карты и логику программы.

Для более удобного использования, при необходимости, можно включать или отключать анимацию, для более точной настройки. Важно отметить, что такая настройка не сохраняется. В случае если появилась необходимость в удалении узлов или связей, то нужно перейти во вкладку удаление, предварительно выбрав нужный узел или связь, затем нажать на кнопку «удалить выбранный узел» и «удалить выбранную связь» соответственно.

Далее необходимо добавить все оставшиеся узлы и связи согласно нашей системе и задумке. В случае возникновения каких-либо вопросов необходимо воспользоваться кнопкой «обучение», где объясняется логика каждой кнопки. После добавления всех узлов и связей необходимо приступить к более точной настройке, допустим увеличения узла «Смертность» и увеличения подузлов «Дети», «Взрослые», «Пожилые». Для этого необходимо перейти во вкладку «Редактировать...» и выбрать кнопку «Редактировать узел», предварительно выбрав узел. Далее необходимо нажать на флажок «изменить размер узла», после этого вписать желаемое значение, так повторить для всех 4 узлов.

Далее необходимо провести донастройку узлов в соответствии с личными запросами и потребностями. В результате должна получиться интеллект-карта показанная (рис. 3).

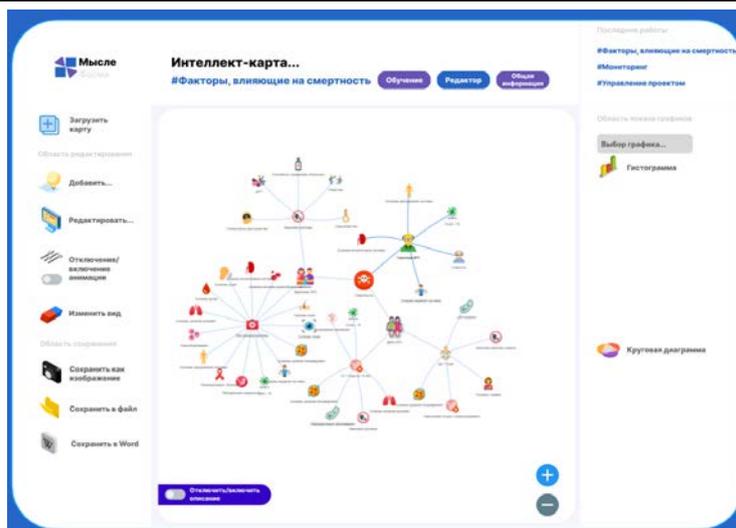


Рис. 3. Пример интеллект-карты «Факторы смертности» в «МыслеФорма»

Также при желании имеется возможность добавить описание по нажатию на тумблер «Отключить/включить описание». Для наглядности сохраним текущую карту в формате word. Этот файл состоит из интеллект-карты, номеров узлов, их названия и описания.

После изучения исторической справки и широкого спектра сфер применения интеллект-карт становится очевидным, что их эффективность и универсальность находят применение в различных областях. Научные исследования и работы, проведенные в данной области, подтверждают значимость интеллект-карт как инструмента для систематизации информации и визуализации сложных концепций. Обзор современных средств для создания интеллект-карт подчеркивает разнообразие доступных программ и сервисов, предоставляющих пользователю различные функциональные возможности. В частности, программный продукт «МыслеФорма» является перспективной альтернативой зарубежным сервисам, обладая широким набором инструментов для создания, редактирования и визуализации интеллект-карт.

Приведенный контрольный пример для программного продукта «МыслеФорма» иллюстрирует его функциональность и возможность использования в задач информационно-аналитической деятельности. Этот пример отражает способность программы создавать структурированные карты, графически представляя связи и данные проекта. Итак, исследования, история развития, обзор современных средств и пример использования продукта «МыслеФорма» убедительно подтверждают значимость и перспективность интеллект-карт в решении практических задач информационно-аналитической деятельности, подчеркивая их важность в управлении информацией и визуализации данных.

Список литературы

1. Новак Джейн и Боулд, Тони. "Интеллект-карты и их применение." Нью-Йорк: Психологическое издательство, 2010. 248 с.
2. Смит Джон. "Визуализация информации: использование интеллект-карт для управления знаниями." Лондон: Издательство знаний, 2015. 176 с.
3. Джонсон Майкл. "Картирование ума: интеллектуальные инструменты для визуализации вашего внутреннего мира." Сан-Франциско: Издательство ИТ, 2018. 312 с.
4. Гонсалес, Андреа. "Применение интеллект-карт в образовании: современные тенденции и практика." Педагогические исследования, 2019, том 52, выпуск 2, с. 187-201.
5. Хайди Грант. "Интеллект-карты для начинающих: Практическое руководство по созданию и использованию карт для улучшения учебы и мышления." Москва: Попурри, 2017. 192 с.
6. Роджер С.И. Основы психологии восприятия. М.: Московский психологический и социальный институт; Воронеж: НПО «МОДЭК», 2018. - 416 с.
7. Говард Б., Джейми Л., Пол Д. "Интеллект-карты: основы." Чикаго: Университет Чикаго, 2014. 264 с.
8. Дэвидсон Марк. "Интеллект-карты как метод оптимизации бизнес-процессов." Журнал менеджмента, 2019, том 18, выпуск 3, с. 301-315.
9. Коллинз Анна. "Эффективное использование интеллект-карт в образовательных целях: методы и практические приемы." Учебные технологии, 2020, том 64, выпуск 1, с. 45-59.

Субботенко Ольга Алексеевна, канд. пед. наук, сотрудник, totylek20@yandex.ru, Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», Россия, Орел,

Сазонова Елена Александровна, канд. пед. наук, сотрудник, gea.07@mail.ru, Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», Россия, Орел,

Юдицкий Владислав Максимович, сотрудник, sam.samml@yandex.ru, Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», Россия, Орел.

APPLICATION OF MIND MAPS IN INFORMATION-ANALYTICAL ACTIVITY: DEVELOPMENT, TECHNOLOGIES, INTEGRATION OF A NEW SOFTWARE PRODUCT

O.A. Subbotenko, E.A. Sazonova, V.M. Yuditsky

The article sheds light on the history and application of mind maps in information-analytical tasks. It explores the evolution of this tool from its inception by Tony Buzan to its widespread use in the corporate environment. Emphasis is placed on the significance of mind maps in structuring and visualizing complex information to ensure more effective data analysis.

Keywords: mind maps, data visualization, analytical tools, software, corporate environment, education, XMind, Coggle, MindMeister.

Subbotenko Olga Alekseevna, Ph.D. ped. Sciences, employee, motylek20@yandex.ru, Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education "Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation", Russia, Orel,

Sazonova Elena Aleksandrovna, Ph.D. ped. Sciences, employee, gea.07@mail.ru, Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education "Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation", Russia, Orel,

Yuditsky Vladislav Maksimovich, employee, sam.samml@yandex.ru, Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education "Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation", Russia, Orel.

УДК 004.654

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-158-159

МОДЕЛЬ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.В. Николаев

Рассматриваются вопросы построения модели обмена информационными ресурсами в едином информационном пространстве специального назначения, начиная с концептуальной модели и заканчивая построением имитационной модели в среде разработки AnyLogic. Данная модель сочетает централизованный и децентрализованный подход к хранению информационных ресурсов и позволяет оценить модель по показателям своевременности, безопасности и устойчивости.

Ключевые слова: единое информационное пространство, информационные ресурсы, имитационное моделирование, AnyLogic.

Современная международная обстановка характеризуется динамичностью, нестабильностью и напряженностью. Ее параметры складываются исключительно под воздействием сложного процесса геостратегического переустройства сфер влияния на мировой арене, влияющей на систему международных отношений и формирование нового миропорядка – многополярного мира. В таких условиях своевременное получение информации играет ключевую роль в принятии решений должностными лицами органов управления. Огромное количество информационных ресурсов (ИР) запрашивается пользователями ежедневно, что требует оптимального подхода к их хранению. Данная проблема приводит к вопросу построения модели единого информационного пространства (ЕИП), которая бы позволила изучить и проанализировать процесс получения должностными лицами органов управления (ОУ) необходимых им для работы ИР [1].

Предположим, что имеется инфотелекоммуникационная сеть (ИТКС) с произвольной топологией (рис. 1), соединяющая узлы. Внутри узлов размещены локальные вычислительные сети (ЛВС), объединяющие пользователей ЕИП, каждый из которых имеет доступ в ЕИП посредством канала связи. Причем в качестве пользователей ЕИП могут рассматриваться любые гетерогенные устройства [2], в том числе автоматизированные системы специального назначения. Кроме того, имеются ИР, распределенные по узлам ЕИП.

В состав узлов также входят:

- сервер информационных ресурсов (СИР);
- сервер метаданных (СМД);
- сервер управления маршрутизацией (СУМ);
- центр обработки данных стационарный (ЦОДст) или мобильный (ЦОДм).

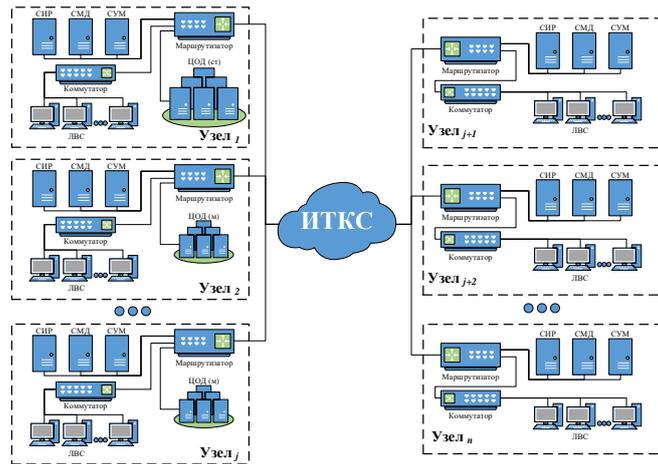


Рис. 1. Сетевая структура ЕИП

Предназначение всех элементов, порядок обработки запросов на получение информационных ресурсов в ЕИП подробно описаны в работе [3]. В данной статье более детально остановимся на имитационном моделировании процесса обмена информационными ресурсами в ЕИП и показателях, оцениваемых моделью.

Целью построения модели является определение показателей таких свойств ЕИП как своевременность, безопасность и устойчивость.

Своевременность важна, потому что пользователи должны иметь возможность получать требуемую информацию в нужный момент времени, чтобы принимать обоснованные решения и выполнять задачи. Например, в случае критически важных ситуаций, своевременный доступ к информации может быть решающим фактором.

Безопасность информационного пространства необходима для защиты от несанкционированного доступа, взломов, утечек данных и других угроз. Это особенно важно с учетом существующих киберугроз и утечек информации, которые могут нанести значительный ущерб как для организаций, так и для отдельных пользователей.

Устойчивость информационного пространства гарантирует непрерывный доступ к информационным ресурсам вне зависимости от времени, внешних воздействий или технических проблем. Это важно для обеспечения бесперебойной работы систем, особенно в случае, когда доступ к информации критичен для выполнения определенных функций или процессов.

Таким образом, своевременность, безопасность и устойчивость являются фундаментальными свойствами информационного пространства, необходимыми для его эффективного функционирования и обеспечения потребностей пользователей.

Остановимся более подробно на выбранных свойствах и их показателях:

1. Своевременность – основное свойство, показывающее способность обеспечить получение пользователем требуемого ИР по запросу в заданное время [4]. Показателем своевременности может служить вероятность того, что среднее время реакции системы (T_p) на запросы пользователей не больше допустимого ($T_p^{доп}$): $P_{св}\{T_p \leq T_p^{доп}\}$.

Вышеуказанную вероятность можно рассчитать по формулам 1 и 2, используя стандартное нормальное распределение [5] и полученные в результате имитационного моделирования параметры среднего значения времени реакции системы и его стандартного отклонения.

$$P_{св}\{T_p \leq T_p^{доп}\} = \int_0^{T_p^{доп}} t f(t) dt, \quad (1)$$

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где a – математическое ожидание, а σ – среднеквадратическое отклонение.

Также время реакции системы на запросы пользователей в значительной степени зависит от способа хранения ИР. Как показано на рисунке 2 предпочтительным является смешанный способ, сочетающий централизованный и децентрализованный подход к размещению ИР [6].

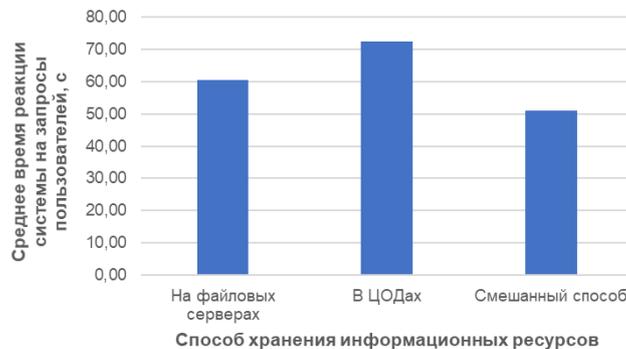


Рис. 2. Гистограмма зависимости среднего времени реакции системы на запросы пользователей от способа хранения ИР

2. Под безопасностью ЕИП понимается свойство, характеризующее его способность противостоять несанкционированному получению доступа к ИР. Показатель безопасности – вероятность защищенности ЕИП от несанкционированного доступа (НСД) к ИР за заданный период времени $T_{зад}$ ($Q_{НСД}(T_{зад})$). Рассчитывается по следующим формулам [7]:

$$Q_{НСД} = 1 - P_{НСД}, \tag{3}$$

где $P_{НСД}$ – вероятность совершения НСД в ЕИП.

$$P_{НСД} = \min_{1 \leq i \leq N} p_i^{НСД}, \tag{4}$$

где $p_i^{НСД}$ – вероятность совершения НСД к i -му ИР, учитывающая наличие дубликатов ИР на других узлах хранения, N – количество ИР в ЕИП.

$$p_i^{НСД} = 1 - (1 - p_{СИР}^{НСД})^{n_1} (1 - p_{ЦОДм}^{НСД})^{n_2} (1 - p_{ЦОДст}^{НСД})^{n_3}, \tag{5}$$

где $p_{СИР}^{НСД}$ – вероятность НСД к СИР, $p_{ЦОДм}^{НСД}$ – вероятность НСД к мобильному ЦОД, $p_{ЦОДст}^{НСД}$ – вероятность НСД к стационарному ЦОД, n_1 – количество копий ИР размещенных на СИР, n_2 – количество копий ИР размещенных на мобильном ЦОД, n_3 – количество копий ИР размещенных на стационарном ЦОД.

График зависимости вероятности защищенности ИР от НСД от количества копий, размещенных в разных местах хранения (серверах и ЦОДах) можно увидеть на рисунке 3 (слева). Данная зависимость показывает, что чем больше существует дубликатов ИР, тем выше вероятность злоумышленнику получить к нему доступ.

3. Под устойчивостью ЕИП будем понимать способность ЕИП в каждый момент времени обеспечить доступ должностного лица к требуемому ИР. Показателем этого свойства может выступать вероятность устойчивого доступа к ИР за заданный промежуток времени $T_{зад}$ ($P_{уст}(T_{зад})$) [8]. Данный показатель является комплексным, в него закладываются как надежностные характеристики оборудования узла хранения, так и его живучесть.

В целом, чем больше мы имеем размещенных на узлах дубликатов, тем больше вероятность того, что должностное лицо, запросившее ИР, получит его в заданный интервал времени. Такую зависимость можно описать логистической функцией распределения (сигмной):

$$P_{уст} = \min_{1 \leq i \leq N} p_i^{уст}, \tag{6}$$

где $p_i^{уст}$ – вероятность устойчивого доступа к i -му ИР, учитывающая наличие дубликатов ИР на других узлах хранения, N – количество ИР в ЕИП.

$$p_i^{уст} = \frac{1}{1 + e^{-n}}, \tag{7}$$

где n – количество дубликатов ИР, размещенных на узлах хранения.

График зависимости, представленной на рисунке 3 (справа), коррелирует с вероятностью НСД к ИР, что показывает взаимосвязь показателей безопасности и устойчивости. Таким образом, решая в дальнейшем задачу оптимизации по критерию среднего времени реакции системы на запросы пользователей необходимо будет учесть данный факт.

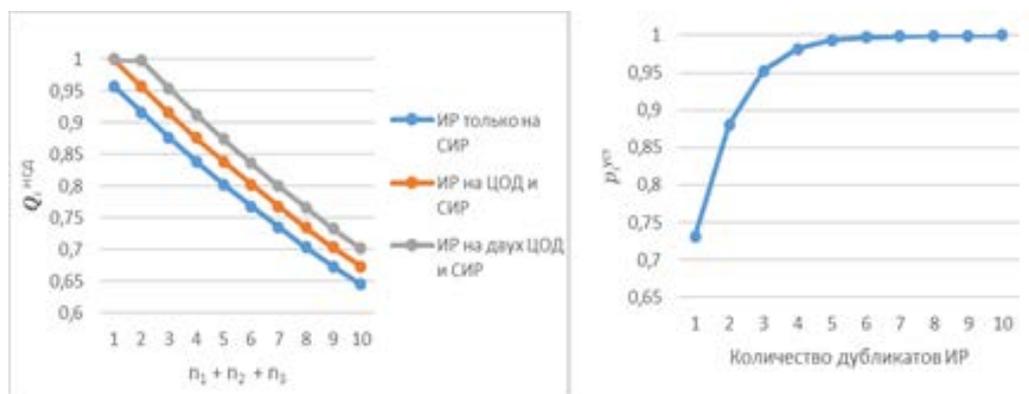


Рис. 3. Графики зависимости вероятности защищенности ИР от НСД и вероятности устойчивого доступа к ИР от количества дубликатов

Приведенная на рисунке 1 сетевая структура ЕИП, а также расчетные выражения показателей своевременности, безопасности и устойчивости легли в основу имитационной модели обмена информационными ресурсами в ЕИП.

Для создания модели использован агентный подход [9] и среда имитационного моделирования AnyLogic [10]. За основу была взята система с иерархической подчиненностью узлов – штабы вышестоящего командования и штабы, подчиненные им (рис. 4). Штабы вышестоящего командования имеют в своем составе СИР, а также дополнительно на ПУ такого штаба расположен ЦОД. Штабы подчиненных ПУ имеют в своем составе только СИР.

В связи с этим в модели реализованы специальные агенты «Пункт управления (ПУ) штаба» двух типов: с ЦОД в составе ПУ (блоки красного и синего цвета) и без (блоки оранжевого цвета) (рис. 5) [11].

Исходные данные в модель подаются частично перед запуском прогона модели и позволяют осуществлять настройки модели, в частично подгружаются в ходе выполнения модели из соответствующих таблиц, выполненных в редакторе MS Excel.

Симуляция проводится в режиме реального времени с интервалом в 1 секунду, длительность моделирования – 1 месяц. Присутствует возможность произвести моделирование в режиме виртуального времени.

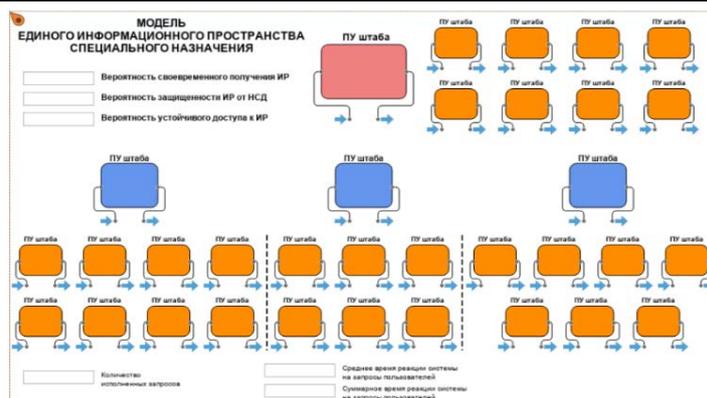


Рис. 4. Верхний уровень имитационной модели распределения ИР

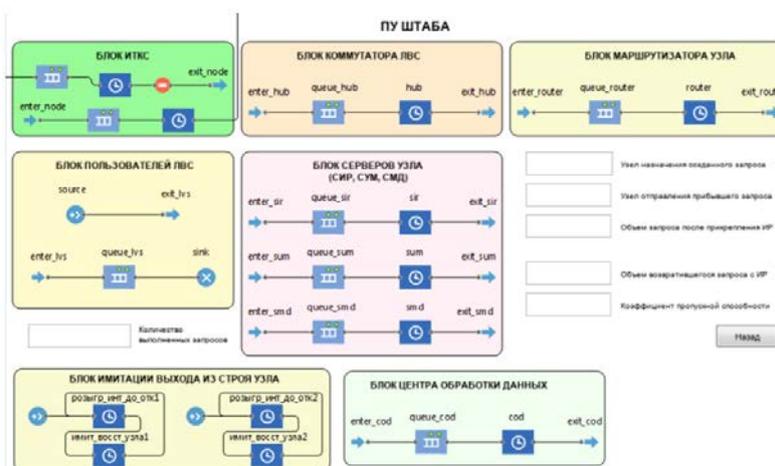


Рис. 5. Нижний уровень имитационной модели распределения ИР: ПУ вышестоящего штаба

Таким образом, результатом моделирования является вывод среднего времени реакции системы на запросы пользователей, а также значений всех показателей: вероятности своевременной доставки ИР, вероятности защищенности ИР от НСД и вероятности устойчивого доступа к ИР.

Список литературы

1. Легков К.Е., Оркин В.В. Основные направления развития единого информационного пространства Воздушно-космических сил в современных условиях // Военная мысль. 2020. № 8. С. 47-53.
2. Горобец В.В. Облачная модель транзакционной системы // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 4. С. 19-24.
3. Николаев В.В., Саенко И.Б. Подход к построению модели единого информационного пространства для решения задачи оптимизации распределения информационных ресурсов // Технологии информационного общества. Сборник трудов XVII Международной отраслевой научно-технической конференции. 2023. С. 96-98.
4. Фабияновский И.Н. Обеспечение своевременности обмена информационными ресурсами на основе технологии распределенного реестра // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. Вып. 9. С. 184-194.
5. Хемди А.Таха. Исследование операций. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2016. 912 с.
6. Vishvanath R, Azra Nasreen. Survey on recent technology of storage area network and network attached storage protocols // International journal of innovative research in electrical, electronics, instrumentation and control engineering. 2014. No. 2. Pp. 1784-1789.
7. ГОСТ Р 59341-2021. Системная инженерия. Защита информации в процессе управления информацией системы. М.: Изд-во стандартов, 2021.
8. Ревнивых А.В., Федотов А.М. Доступность ресурсов информационных систем // Вестник Новосибирского государственного университета. серия: информационные технологии. 2014. Том 12. Вып. 1. С. 55-63.
9. Белов А.Г., Моисеев С.А., Григорьев А.В. Методы имитационного моделирования. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2014. Том 1. С. 277-279.
10. Бирюков М.А., Брунилин А.А., Саенко И.Б. Имитационный подход к моделированию системы разграничения доступа к единому информационному пространству // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Сборник научных статей: в 4-х томах. Под редакцией С.В. Бачевского. 2017. С. 78-83.
11. Саенко И.Б., Николаев В.В. Об имитационной модели единого информационного пространства специального назначения // Труды Второй всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в военной сфере. 2022. С. 146-151.

Николаев Владимир Викторович, адъюнкт кафедры, fortune-rus@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного

THE MODEL OF INFORMATION RESOURCE EXCHANGE IN A SPECIAL PURPOSE COMMON INFORMATION SPACE

V.V. Nikolaev

The issue of building a model for the exchange of information resources in a special-purpose common information space is considered, starting with a conceptual model and ending with the construction of a simulation model in the AnyLogic development environment. This model combines a centralized and decentralized approach to the storage of information resources and allows you to evaluate the model based on the indicators of timeliness, security and sustainability.

Keywords: common information space, information resources, simulation modeling, AnyLogic.

Nikolaev Vladimir Viktorovich, adjunct of the Department (special purposes automated systems), fortune-rus@yandex.ru, Russia, Saint Petersburg, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny

УДК 693.542

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-162-163

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗВОДИМЫХ ПРИ ПОМОЩИ 3D-ПРИНТЕРОВ

Т.Х. Бидов, А.С. Зиновкин, А.Р. Жолтиков, Н.В. Макаев

В данной статье рассматриваются возможные методы повышения прочности элементов зданий, выполненных путем 3D-печати. Проблема является актуальной вследствие перспективности технологии строительства зданий с помощью 3D-принтеров. Возникает необходимость увеличения несущей способности их конструкций для повышения этажности зданий, увеличения пролетов, благодаря чему будут расширены возможности для создания различных архитектурных решений. Технология 3D-печати накладывает определенные ограничения на использование различных средств, благодаря которым достигается высокая несущая способность бетонных конструкций. Прочность конструкций зависит от самой бетонной смеси, а также типа их армирования. Причем на прочность бетона непосредственное влияние оказывает его состав. Рассмотрены варианты армирования конструкций и проанализированы варианты изменения состава бетонной смеси, причем как количественно, так и качественно, а также рассмотрены установленные оптимальные дозировки содержания модифицирующих добавок в бетоне.

Ключевые слова: 3D-бетонирование, системный анализ, фиброволокно, повышение эффективности, прочность на сжатие, добавки.

Возведение сооружений с использованием 3D-принтера на сегодняшний день является одной из наиболее перспективных технологий в строительной отрасли вследствие ее потенциала, заключающегося в возможности создания конструкций в обширном диапазоне размеров, начиная от мелкоштучных элементов вплоть до больших строительных конструкций, на пример стеновых панелей, или же зданий целиком. Внедрение индустриальных методов производства работ является актуальной на сегодняшний день задачей в современном строительстве. [1-7].

Печать зданий при помощи строительного 3D-принтера представляет собой возведение трехмерных объектов по заранее созданной цифровой модели путем последовательного нанесения слоев материала. Среди всех существующих видов 3D-печати основным в строительстве является послойное экструдирование - подача бетонной смеси с различными добавками под давлением.

К достоинствам данной технологии относятся:

Автоматизация строительного процесса. 3D принтер возводит здания по готовой 3D модели, из-за чего снижается риск ошибок, обусловленных человеческим фактором.

Скорость строительства. Это связано с автоматизацией процесса и возможностью непрерывной работы без необходимости в большом количестве рабочей силы.

Низкие расходы. В сравнении с классическими методами, применение 3D печати позволяет снизить затраты на оплату труда персонала и строительные машины.

Отсутствие образования отходов. Это возможно благодаря высокой точности строительства и отсутствия предварительной обработки элементов конструкций.

Возможность возведения зданий по уже имеющейся 3D-модели дает доступ к созданию дешевого жилья в сжатые сроки, что довольно востребовано на сегодняшний день. Однако это может задать новые требования к объемно-планировочным параметрам, например увеличение пролетов и этажности зданий. Из-за технологических особенностей процесса 3D-печати, например - ограничений на размер заполнителя бетонной смеси, а также сложности армирования конструкций, возникает необходимость анализа и определения способов повышения несущей способности зданий, построенных с помощью 3D-принтеров.

В качестве основного материала для 3D-принтеров используется цементный мелкозернистый бетон. В его состав входят наполнитель, фракции которого имеют размер, не превышающий нескольких миллиметров, минеральные добавки, пластификаторы, ускорители схватывания и противоусадочные добавки [9]. Довольно острым является вопрос реологических свойств составов, применяемых в строительстве 3D-принтерами [10]. Адгезия между слоями зависит от промежутка времени между их укладкой - тем выше сцепление, чем меньше период укладки слоя [11]. Вместе с этим нужно учитывать, что для того, чтобы слой бетона мог выдержать вышележащие слои, ему требуется время для набора прочности, иначе, возможна потеря устойчивости конструкции и ее разрушение. На это еще влияет и подвижность бетона, так как она должна быть достаточной, чтобы сохранять форму стены при наборе прочности, при этом быть пригодной для экструдирования через сопло принтера. Вследствие описанного выше компромисса, связанного с подвижностью бетона, а также с тем, что для конструкций, напечатанных на 3D-принтере, не применяется виброуплотнение, пористость бетона также оказывает негативный эффект на несущую способность данных конструкций [12].

Исходя из описанных выше проблем требуется определить мероприятия, способные повысить прочность бетонных стен зданий, выполненных путем 3D-печати. Наиболее очевидным решением данной проблемы может стать повышение прочности самой бетонной смеси, используемой в качестве чернил строительных 3D-принтеров. Это напрямую связано с изменением ее состава. Так, изменить состав бетонной смеси возможно качественно - путем замены ее составляющих или же изменением их количества по отношению друг к другу.

Одним из основных компонентов бетонной смеси является вяжущее вещество, представляющее собой порошкообразный материал, который при смешивании с водой и наполнителем образует пластичную массу, впоследствии превращающуюся в искусственный камень. В зависимости от химико-минералогического состояния вяжущие материалы подразделяют на цементные, силикатные и специальные. Отдельно стоит отметить композиционное вяжущее, в качестве которого были разработаны составы с различным содержанием клинкерной составляющей и добавкой пластификаторов в оптимальной концентрации [13]. Оптимальное массовое соотношение для повышения прочностных характеристик твердой фазы композиционных вяжущих является: портландцемент – 48,8-49,4%; известняковая мука – 49,5-49,8%; метаксаолин – 0,9-1,1%; полипропиленовая фибра – 0,2-0,3% [14]. Таким образом, от вяжущего вещества зависят многие свойства и характеристики материала. Так, самые прочные разновидности бетона базируются на цементе и композиционном вяжущем. Второй же является наиболее перспективным для использования в составе конструкций 3D-печати.

Другим составляющим бетонной смеси является наполнитель, который сопротивляется сжатию и придает композитному материалу объем. Наполнители подразделяются на природные из горных пород вулканического и осадочного происхождения, отходы промышленности из дробленого доменного шлака, бетона и железобетона, искусственные. В составе смеси наполнитель решает такие задачи, как создание упругой пространственной структуры, способствующее снижению действия усадки, а также восприятие нагрузки, оказываемой на бетонную конструкцию, что важно в период до набора полной прочности с целью предотвращения ползучести бетона. Наполнитель в составе смеси обеспечивает минимальную пустотность (объем межзерновых пустот) при оптимальной удельной поверхности зерен твердой фазы. Способствует уменьшению усадки. Так, в качестве наполнителя бетонной смеси для технологии 3D-печати, целесообразно использовать природный песок преимущественно фракций размером зерна до 2,5 мм вследствие технологии печати. Это связано как с особенностями экструзионного формования бетона, так и с механизмами принтера [15].

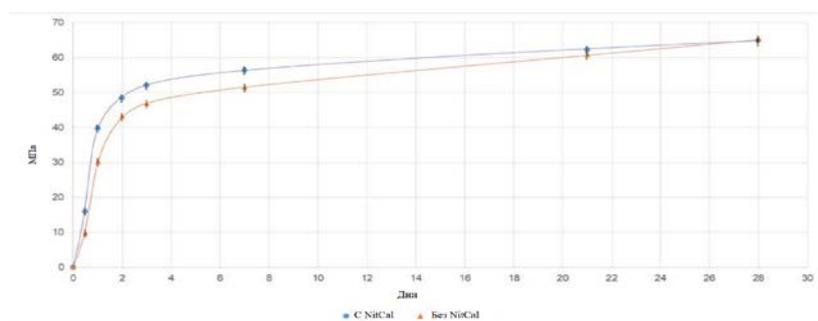
Одним из количественных факторов, влияющих на прочность бетонных конструкций является водоцементное соотношение. Повышение водоцементного соотношения приводит к увеличению подвижности и более легкой доставке бетонной смеси к месту укладки, что является необходимым, для применения ее в 3D-печати, однако чрезмерное повышение этого параметра влечет за собой расслаиваемость смеси и оседание наполнителей, а следовательно и потерю прочности конструкции. Для повышения прочности цементного камня целесообразно уменьшить количество и размеры крупнокристаллических блоков портландита, что достигается снижением водоцементного отношения. Снизить водоцементное соотношение возможно путем введения добавок, которые поглощая воду, делают раствор более насыщенным. Чем меньше водоцементное отношение в бетонной смеси, тем насыщеннее раствор и тем быстрее происходит затвердевание [16].

В качестве добавки к бетонным смесям, используемой в 3D-печати, весьма эффективно применение пластификаторов - химической добавки, вводимой в бетонную смесь с целью улучшения ее физико-химических характеристик. Пластификатор позволяет увеличить подвижность бетонной смеси, замедляя процесс гидратации и увеличивает время начала схватывания. Установлено, что пластификатор имеет предельное значение 0,03 % от массы цемента, меньше которого слои становятся несвязными и строительная 3D-печать оказывается невозможной [11, 17]. Подвижность смеси оказывает значительное влияние на качество строительных конструкций, напечатанных на 3D-принтере. Смеси с чрезмерной подвижностью и наименьшим предельным напряжением сдвига наиболее подвержены образованию таких дефектов, как нарушение геометрии и прямолинейности, распыл. В то же время смесь с недостаточной подвижностью и большим предельным напряжением сдвига характеризуется нарушением геометрии, прямолинейности, разрывов между слоями, разнотолщинности. Таким образом, наиболее эффективно будет использовать пластификатор в ограниченном количестве с целью получить смесь с подвижностью и предельным напряжением сдвига, близкими к оптимальным значениям [18]. Экспериментально установлено, что добавление пластификатора до 0,1% от массы вяжущего, незначительно снижает предел текучести и пластическую вязкость, сохраняя при этом остальные свойства бетонной смеси. Оптимальное содержание пластифицирующих добавок, равняющееся 0,3% от массы вяжущего, не приводит к уменьшению прочностных характеристик бетона, что связано со снижением водопотребности [19].

Для увеличения скорости набора прочности и скорости процесса схватывания цемента в раствор вводят добавки - ускоритель твердения и схватывания бетона соответственно. Включение добавок ускорителей в бетонную смесь ускоряет процесс гидратации, что приводит к быстрому образованию гелей, захватывающих в себя большое

количество жидкой фазы, тем самым обеспечивая быстрое схватывание и последующее интенсивное упрочнение цементного камня. Так, на примере ускорителя NitCal бетон набирает 24% от класса прочности в течение первых 12 часов. После дня твердения бетон приобретает 61 % классовой прочности при использовании ускорителя твердения и только 46 % классовой прочности при отсутствии ускорителей твердения. Разрыв между значениями с течением времени сокращается, и на 28-й день прочность бетона без нитрата кальция незначительно превышает значение прочности бетона с нитратом кальция [20]. Однако ускорители схватывания бетона и ускорители твердения бетона зависят от температурных условий, используемых добавок. По этой причине следует применять комплексные добавки.

Возможно также совместное использование замедлителя и ускорителя твердения. Совместное воздействие сахарозы, выступающей в роли замедлителя твердения, и гидросиликатного ускорителя твердения на кинетику набора прочности цементных композитов заключается в создании оптимальных дозировок, позволяющих использовать положительные стороны каждой из добавок. При концентрации силикат-кальциевой дисперсии 5-20% преобладает замедляющее твердение воздействие сахарозы, однако при дозировке силикат-кальциевой дисперсии равной 30-50% проявляется ускорение гидратации цемента. Так, при замене цемента на композитное вяжущее с содержанием силикат-кальциевой дисперсии 30% достигается 18% прирост классовой прочности на сжатие, а уже на 100 сутки гидратации прочность на сжатие достигнет величин в 1,8 раза превышающих прочность бетона без добавок. Данное сочетание добавок позволяет использовать преимущества сахарозы, которые выражаются в увеличении долговременной прочности бетона, компенсируя такой ее недостаток, как замедление твердения бетона, путем введения гидросиликатного ускорителя твердения [21].



Зависимость прочности бетона в присутствии и отсутствии ускорителя твердения NitCal [12]

Повысить прочность конструкций, напечатанных на 3D-принтере, можно также путем их армирования.

Армировать стены, выполненные 3D-печатью, традиционным способом, при котором арматура заранее устанавливается в проектное положение и затем заливается бетоном, затруднительно из-за самой технологии 3D-печати. Ввести арматуру в конструкцию стены можно устанавливая армирующую сетку горизонтально поверх свежеложенного слоя с необходимым интервалом в нужное количество слоев. Также армировать стену возможно путем установки арматурных стержней или каркасов в технологические пустоты между уже напечатанными стенами, которые будут выступать опалубкой для уложенной в дальнейшем бетонной смеси.

Весьма эффективный метод армирования конструкций, выполненных печатью на 3D-принтере - использование фиброволокна. Фибра представляет собой волокнистый материал, использующийся в качестве добавки в бетонную смесь. Она может быть выполнена из стали, базальта, полипропилена или стекла. Применение фибры есть наиболее удобный способ повысить прочность бетона при 3D-печати ввиду того, что не требуется задействовать труд рабочих для создания армирования во время изготовления конструкции, так как фибра добавляется еще во время создания бетонной смеси, и далее процесс печати идет по стандартному сценарию. Использование волокон в смеси способно увеличить прочность на сжатие и в особенности на изгиб, сделать ее менее восприимчивой к растрескиванию при усадке, а также к термическим нагрузкам. Так, было определено, что при дозировке базальтовой фибры в размере 396 кг на 1 м³ бетонной смеси, прочность бетона на сжатие и изгиб после экструзии увеличилась на 2 и 17 % соответственно по сравнению с бетоном, не армированным фиброй [20].

Тем не менее можно отметить формирование общей тенденции для решения проблемы методов повышения прочности элементов зданий, выполненных путем 3D-печати. От вяжущего вещества преимущественно зависит прочность бетонной смеси. Для обычного бетона существуют множество видов вяжущего: цемент, различная известь и другие. Они по-разному улучшают свойства бетона, однако для бетонной смеси, применяемой для 3D печати невозможно использовать все те же вяжущие вещества вследствие различной технологии производства работ. В результате анализа вышеизложенного материала, а также других источников было выяснено, что для бетона, используемого в 3D печати, наиболее перспективно использование композиционных вяжущих веществ. Оптимальное массовое соотношение для повышения прочностных характеристик твердой фазы композиционных вяжущих является: портландцемент – 48,8-49,4%; известняковая мука – 49,5-49,8%; метаксаолин – 0,9-1,1%; полипропиленовая фибра – 0,2-0,3%.

Вторым важным составляющим бетонной смеси является заполнитель. Он создает каркас бетонной смеси, оказывает существенное влияние на свойства бетона. В составе смеси заполнитель решает такие задачи, как создание упругой пространственной структуры, способствующий снижению действия усадки, а также восприятие нагрузки, оказываемой на бетонную конструкцию. [22-27].

Различные добавки также необходимы для улучшения различных свойств и характеристик бетона. Они способны регулировать подвижность бетона, водоудержание, схватывание и твердение смеси, плотность, пористость

и другие. Экспериментально установлено, что добавление пластификатора до 0,1% от массы вяжущего, незначительно снижает предел текучести и пластическую вязкость, сохраняя при этом остальные свойства бетонной смеси. Оптимальное содержание пластифицирующих добавок равняется 0,3-0,7% от массы вяжущего. Излишнее количество тонкомолотых добавок (шлаки, пески, золы и др.) уменьшает прочность бетона.

Одно из главных свойств бетона-прочность оказывает большое влияние наличие или отсутствие армирования конструкции. Весьма эффективный метод армирования конструкций, выполненных печатью на 3D-принтере - использование фиброволокна. Фибра представляет собой волокнистый материал, использующийся в качестве добавки в бетонную смесь, что сильно снижает трудозатраты на рабочую силу, а также упрощает сам процесс армирования.

Список литературы

1. Кайтуков З. Ф., Хубаев А. О. Повышение качества мелкозернистого бетона // Научное обозрение. 2017. № 15. С. 39-43.
2. Хубаев А. О., Бидов Т. Х. Использование нанотехнологий при изготовлении бетона // Строительство - формирование среды жизнедеятельности: Электронный ресурс: сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2017. С. 902-904.
3. Хубаев А. О., Саакян С. С. Повышение эффективности возведения монолитных конструкций с применением технологии виртуальной и дополненной реальности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. Вып. 12. С. 492-495.
4. Khubaev A. O. Determination of the effectiveness of the production process of winter concreting based on field studies // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region" (UESF-2023), Chelyabinsk, 25–28 апреля 2023 года. Vol. 389. Chelyabinsk: EDP Sciences, 2023. P. 06012. DOI 10.1051/e3sconf/202338906012.
5. Regression analysis of the calculation of the organizational and technological potential for the production of cold weather concreting / A. Lapidus, A. Khubaev, T. Bidov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 23, Construction - The Formation of Living Environment, 55 Giai Phong Road, Hanoi, 23–26 сентября 2020 года. 55 Giai Phong Road, Hanoi, 2020. P. 072033. DOI 10.1088/1757-899X/869/7/072033. EDN XNEVRM.
6. Development software for the non-destructive control of monolithic structures in housing construction / A. Lapidus, A. Khubaev, T. Bidov // E3S Web of Conferences, Chelyabinsk, 17–19 февраля 2021 года. Chelyabinsk, 2021. DOI 10.1051/e3sconf/202125809003.
7. Лapidус А. А., Хубаев А. О. повышение эффективности производства зимнего бетонирования посредством применения программного обеспечения "potencial-cwc" // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. Вып. 5. С. 18-26.
8. Иноземцев А. С., Королев Е. В., Зыонг Тхань Куй Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 7 (118). С. 863–876. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.863-876
9. Кротов О. М., Кузнецов М. В., Птухина И. С. Влияние пластифицирующих добавок на предельную высоту сооружений при строительной 3D-печати // Инновации и инвестиции. 2023. № 5. С. 387–392.
10. 3D-печать в строительстве / Н. И. Ватин, Л. И. Чумадова, И. С. Гончаров, В. В. Зыкова, А. Н. Карпеня, А. А. Ким, Е. А. Финашенков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №1 (52). С. 27-46.
11. Ключев С. В., Ключев А. В., Шорстова Е. С. Композиционные вяжущие для фибробетонов, применяемых для 3-d печати // Системные технологии. 2019. № 30. С. 47-51.
12. Патент № 2729283 Российская Федерация, МПК С04В 28/04. Двухфазная смесь на основе цемента для композитов в технологии строительной 3D-печати / Г. С. Славчева ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный технический университет". № 2019133428/19 ; заявл. 21.10.19 ; опубл. 05.08.20.
13. 3D-бетонирование – составы, методики и свойства смесей / Ю. Д. Самуйлов, В. М. Трепачко, Э. И. Батяновский // Наука и техника. 2022. Т. 21, № 5. С. 374–385. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-5-374-385>.
14. Современные технологии ускорения набора прочности бетона / Е. А. Лангнер, А. А. Шиховцов, А. А. Царёв, В. В. Петросян // Вестник Евразийской науки. 2020. Т. 12, №5.
15. Vasileios Sergis, Automating mix design for 3D concrete printing using optimization methods / Vasileios Sergis Claudiane M. Ouellet-Plamondon // Digital Discovery, 2022,1, 645-657
16. Мухаметрахимов Р. Х., Зиганшина Л. В. Технология и контроль качества строительной 3D-печати // Известия КГАСУ 2022 № 1(59). С 64-79. DOI: 10.52409/20731523_2022_1_64
17. Хватынец В. А., Парфёнова Л. М. Влияние пластифицирующих добавок на технологические свойства бетонной смеси для 3D-печати // Минск : БНТУ, 2022. С. 88-90.
18. Высокоэффективные легкие бетоны для 3D-печати / А. С. Рассохин, А. Н. Пономарев, С. Л. Шамбина, А. И. Карлина // Журнал гражданского строительства. 2022. 115 (7). Статья № 11510. DOI: 10.34910 /MCE.115.10
19. Шошин Е.А., Строкова В.В., Айзенштадт А.М. Совместное влияние сахарозы и высокодисперсных гидросиликатов кальция на кинетику набора прочности цементных бетонов // Chemical Bulletin. 2022. Т. 5, № 1. С. 83-94.
20. Материалы для строительных 3D-принтеров и варианты конструктивного решения зданий / Л. А. Сулейманова, Е. А. Крушельницкая, Н. В. Огнев, Чжан Цзяньдун, Се Ди // Государственного технического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 66-72.
21. Лунева Д. А., Кожевникова Е. О., Калошина С. В. Применение 3B-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8, № 1. С. 90-101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.08

22. Бидов Т. Х., Хубаев А. О. Систематизация производственно-технической документации при возведении монолитных конструкций жилых зданий в зимний период // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. Вып. 2. С. 466-471. DOI 10.24412/2071-6168-2022-2-466-471.

23. Modern Russian high-tech construction materials and their application in domestic construction industry (on example of metal-ceramic panels Hardwall) / A. Khubaev, T. Bidov, A. Bzhienikov, V. Nesterova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 21, Construction - The Formation of Living Environment, Moscow, 25–27 апреля 2018 года. Vol. 365, 3. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2018. P. 032005. DOI 10.1088/1757-899X/365/3/032005.

24. Анализ трудоемкости ремонтных работ в разных странах / Р. С. Фатуллаев, Т. Х. Бидов, А. О. Хубаев, Т. К. Кузьмина // Строительное производство. 2022. № 4. С. 86-90. DOI 10.54950/26585340_2022_4_86.

25. Бидов Т. Х., Аветисян Р. Т. Разработка организационно-технологической модели потенциала устройства временного крепления стенок выемок при производстве работ нулевого цикла // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. Вып. 12. С. 427-431.

26. Бидов Т. Х., Коновалов В. С., Байсякина К. С. Оптимизация процессов, связанных с производством земляных работ, при строительстве здания методом "up-down" // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. Вып. 5. С. 246-254.

27. Бидов, Т. Х. Перспективы формирования методики по повышению эффективности возведения зданий и сооружений из трубобетонных конструкций / Т. Х. Бидов, С. А. Ковалева, М. И. Магомедов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. Вып. 4. С. 120-126.

Бидов Тембот Хасанбиевич, доцент кафедры «Технологии и организация строительного производства» (ТОСП), Директор Научно-образовательного центра «Конструкции, технологии и организация строительства», Россия, Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, tombot07@bk.ru.

Зиновкин Артём Сергеевич, студент 4 курса Института Промышленного и гражданского строительства, Россия, Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Жолтиков Артём Романович, студент 4 курса Института Промышленного и гражданского строительства, Россия, Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Макаев Николай Викторович, Заместитель директора по проектированию ООО «Комбинат Инновационных Технологий - МонАрх», Москва, Россия, N_makay@mail.ru.

SYSTEM ANALYSIS OF WAYS TO INCREASE THE STRENGTH OF BUILDING STRUCTURES CONSTRUCTED USING 3D PRINTERS

T.H. Bidov, A.S. Zinovkin, A.R. Zholtikov, N.V. Makaev

This article discusses possible methods for increasing the strength of building elements made by 3D printing. The problem is relevant due to the promise of technology for constructing buildings using 3D printers. There is a need to increase the load-bearing capacity of their structures to increase the number of floors of buildings, increase spans, which will expand the possibilities for creating various architectural solutions. 3D printing technology imposes certain restrictions on the use of various means through which high load-bearing capacity of concrete structures is achieved. The strength of structures depends on the concrete mixture itself, as well as the type of reinforcement. Moreover, the strength of concrete is directly influenced by its composition. Options for reinforcing structures are considered and options for changing the composition of the concrete mixture are analyzed, both quantitatively and qualitatively, and the established optimal dosages of the content of modifying additives in concrete are also considered.

Key words: 3D-concreting, system analysis, fiberglass, efficiency improvement, compressive strength, additives.

Bidov Tembot Khasanbievich, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production (TOSP), Director of the Scientific and Educational Center "Designs, Technologies and Organization of Construction", Russia, Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering, e-mail: tombot07@bk.ru.

Zinovkin Artyom Sergeevich, 4th year student at the Institute of Industrial and Civil Engineering, Russia, Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering.

Zinovkin Artyom Sergeevich, 4th year student at the Institute of Industrial and Civil Engineering, Russia, Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering.

Makaev Nikolay Viktorovich, Deputy Director for Design LLC "Combine of Innovative Technologies - Mon-Arch", Moscow, Russia, N_makay@mail.ru.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫЯВЛЕНИЯ ЗНАЧИМЫХ СОБЫТИЙ ДНЯ ИЗ ПОТОКА НОВОСТЕЙ

А.Ю. Бородащенко, Е.А. Коленкин, Е.А. Сазонова

Предложен алгоритм выявления значимых событий дня на основе применения методов кластеризации DBSCAN.

Ключевые слова: обработка текста, кластеризация, классификация, значимое событие, новости.

Работа посвящена решению задачи выявления значимых событий дня из публикаций средств массовой информации, что позволяет классифицировать поток поступающих новостей по степени их важности.

В современном мире способность выявлять и анализировать значимые события дня становится ключевым фактором успеха для предприятий и организаций, которые нуждаются в применении инструментов, позволяющих оперативно реагировать на актуальные тренды, конкурентные угрозы и риски, а также выбирать направления дальнейшего развития. Информационные технологии, такие как Data, Text и Web Mining давно уже стали фундаментальными элементами успешного управления в современной бизнес-среде, где информация является ключевым активом и источником конкурентного преимущества. На современном уровне развития сети Интернет все более и более востребованным становится сбор информации из всевозможных источников, в том числе социальных сетей, так как в них обеспечивается охват большой аудитории, включающей разнообразные социальные слои и возрастные категорий граждан, а пользователи «смелые» и «правдивые».

В качестве средства массовой информации (СМИ) выбрана широко распространенная кроссплатформенная система мгновенного обмена сообщениями Telegram. Обоснованность выбора данной платформы заключается в высоких темпах её развития [1] (рис. 1). За последние пять лет аудитория Telegram выросла в 3,5 раза, а с 2014 года, года его появления, количество пользователей Telegram увеличилось более чем в 20 раз. Аудитория Telegram растет более чем на 40% каждый год.



Рис. 1. График активных пользователей в кроссплатформенной системе мгновенного обмена сообщениями Telegram в период с 2014 по 2023 г.

Кроме того, согласно исследованию Statista [1] (рис. 2) в 2023 году 80% пользователей выбрали Telegram с целью получения актуальных новостей, что, несомненно, важно при решении задачи исследования.

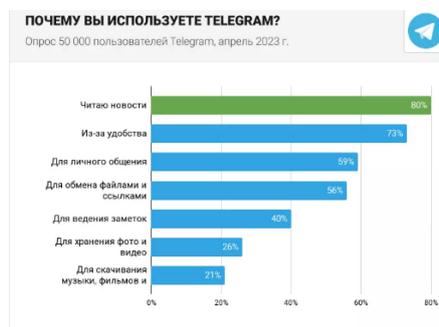


Рис. 2. График распределения ресурсов пользования в кроссплатформенной системе мгновенного обмена сообщениями Telegram

Характеристики информационных потоков, циркулирующих в СМИ, определяются событиями, происходящими в реальном мире. Если событие важное, значимое, то обязательно о нем будут много писать и говорить достаточно длительное время. Поэтому задача первичного выявления значимых событий из потока новостей является в каком-то смысле задачей предсказания дальнейшего увеличения множества подобных сообщений, что актуально как с научной, так и практической точки зрения. Исследуемая задача состоит в разработке такого алгоритма выявления значимых событий, который на основе ретроспективного подхода к изучению текущих потоков новостей позволит получить наилучшее соответствие между публикациями о значимых событиях и сюжетами, которые будут широко освещаться в последующем.

Развитие Интернет и социальных сетей выявили новые ключевые особенности получения новостной информации [2]:

1. Информационная перегрузка: мир перенасыщен информацией. Люди сталкиваются с огромным объемом данных каждый день. Актуальный алгоритм для выявления значимых событий помогает бороться с информационной перегрузкой, позволяя пользователю или аналитикам фокусироваться на наиболее важных событиях.

2. Социальные медиа как ключевой источник: социальные сети стали важным источником новостей и оценок событий. Анализ потока новостей из социальных медиа помогает понять общественное мнение и реакцию на события. Это особенно актуально в контексте политики и общественной безопасности.

3. Спрос на реакцию в реальном времени: события развиваются быстро, и для многих организаций и государственных структур важно иметь возможность реагировать на них в реальном времени. Алгоритмы выявления значимых событий должны быть способными оперативно определять актуальные и важные темы.

4. Современные технологии: с развитием машинного обучения и обработки естественного языка, существует огромный потенциал для создания более точных и эффективных алгоритмов анализа информации. Это делает тему актуальной для исследования и разработки новых методов.

Распространение фейковых новостей: современные информационные платформы столкнулись с проблемой распространения фейковых новостей и дезинформации. Разработка алгоритма, способного выявлять значимые события и фильтровать недостоверные информационные источники, может помочь бороться с этой проблемой и обеспечить более достоверную информацию.

На рисунке 3 представлен пример новостной ленты кроссплатформенной системы мгновенного обмена сообщениями Telegram, включающей публикации telegram-канала о происходящих в мире событиях. Каждая публикация представляет собой блок текста, выражающего какую-либо мысль автора. Имея множество таких публикаций можно проанализировать самые различные аспекты жизни общества, оценить степень социальной напряженности, наблюдать ответную реакцию общества на применение тех или иных мер воздействий, контролировать результаты выполнения целевых программ и национальных проектов, отношение населения к деятельности органов государственной власти.

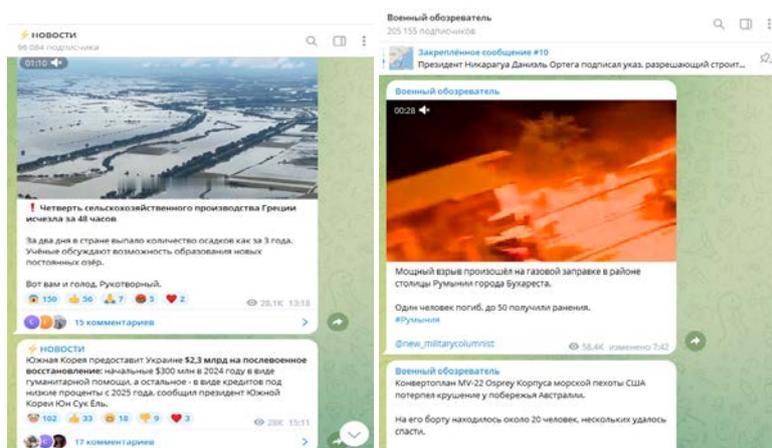


Рис. 3. Пример новостной ленты кроссплатформенной системы мгновенного обмена сообщениями Telegram

Выявление значимых событий дня из потока новостей включает в себя несколько этапов и методов, предназначенных для автоматического определения и фильтрации событий, которые наиболее важны и актуальны. Начальным этапом является сбор данных из источников информации (новостные сайты, социальные сети, блоги и другие источники). Этот этап может также включать в себя фильтрацию данных по тематическим запросам или ключевым словам, чтобы сузить поток данных до более узкой и интересующей области. Полученные данные предварительно обрабатываются для удаления шума и структурирования информации. На этом этапе могут использоваться методы обработки естественного языка (NLP) для извлечения текстовых данных и метаданных, таких как дата и источник. Для каждой новой публикации или сообщения оценивается актуальность. Это может включать в себя анализ времени публикации и сравнение с текущими новостями. Документы, которые давно опубликованы или не имеют актуальной информации, могут быть исключены. Следующим шагом является выявление схожих по смыслу и тематике документов. Способствовать этому могут методы машинного обучения, векторное представление текста и алгоритмы кластеризации, которые используются для группировки документов в кластеры. Каждый кластер оценивается на важность и релевантность. Это может включать в себя анализ числа документов в кластере, авторитетности источников, а также использование специальных метрик для определения степени важности. Алгоритм должен быть способен обновляться в режиме реального времени и периодически проверять наличие новых событий, что позволит поддерживать актуальность выявленных событий. В качестве результатов работы алгоритма могут быть данные, представленные в виде дашборда, графиков или списков, что облегчает их восприятие и анализ для пользователей.

Для решения задачи выявления значимых событий дня были рассмотрены следующие существующие подходы.

В работах [3, 4] предлагается подход, основанный на технологии контент-мониторинга (рис. 4), базирующийся на таких предположениях о документах, содержащих информацию о новых событиях:

- а) минимальное время, прошедшее с момента публикации документа;

- б) близость лексического состава документа к лексическому составу массива документов за небольшой промежуток времени (массив оперативных новостей);
- в) существенное различие лексического состава документа от лексического состава массива документов за значительный период времени – окна наблюдения;
- г) наличие в документе терминов, входящих в плюс-словарь (включающий важные для содержания новостей слова типа «теракт», «конфликт», «сенсация» и т.п.);
- д) высокий ранг «авторитетности» источника, а также допустимости лексики заглавий новостей (определяемых экспертами).
- е) отсутствие дублирования информации.

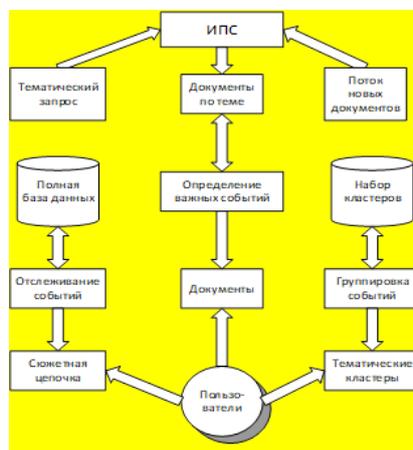


Рис. 4. Определение новых событий дня – элемент технологии контент-мониторинга

Солтоном [5] была предложена модель векторно-пространственного представления документов и традиционных методов кластеризации. Текстовые документы предполагается обрабатывать в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Первому рассматриваемому документу ставится в соответствие первый кластер. Каждый кластер представляется вектором термов (ключевых слов), входящих в документы этого кластера. Нормированный различным образом вектор термов принято называть центроидом. Иногда центроидом называют документ, самый близкий по некоторому критерию к вектору термов данного кластера, что не меняет сути данного алгоритма.
2. Каждый следующий документ сравнивается с центроидами существующих кластеров (для этого вводится некоторая мера близости).
3. Если документ достаточно близок к некоторому кластеру, то он приписывается этому кластеру, после чего происходит пересчет соответствующего центроида.
4. Если документ не близок к существующим кластерам, то происходит формирование нового кластера, которому приписывается данный документ.
5. Временной диапазон рассматриваемых документов принято называть «окном наблюдения». Кластеры, все документы которых выходят за пределы окна наблюдения, выносятся за рамки рассмотрения.

На основе рассмотренных подходов к выявлению значимых событий дня, предлагается авторское решение, адаптированное под «значимые события» и другие важные факторы (рис. 5). На вход поступают отобранные по тематике сообщества социальных сетей. В первом подпроцессе происходит сбор текстовых данных, их очистка и запись в базу данных. На второй этап поступают текстовые данные, готовые к обработке. На данном шаге происходит лемматизация и векторизация слов, а затем их кластеризация. После чего, происходит расчет среднего распространения публикации внутри одного кластера. На последнем этапе происходит прогнозирование значимых событий дня на основе рассчитанных ранее параметров и формируется новостная лента со значимыми событиями дня.

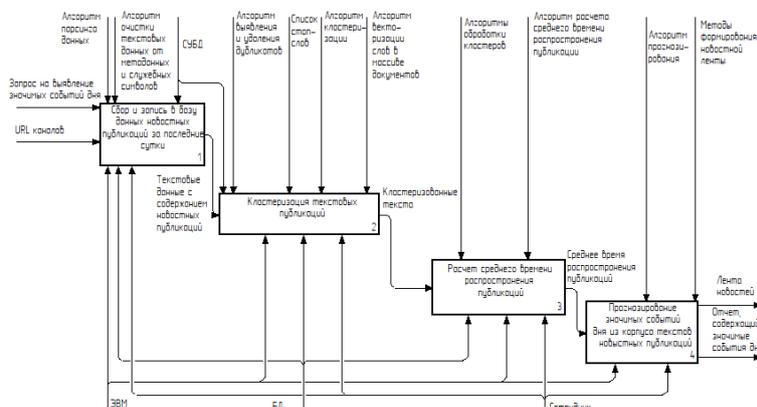


Рис. 5. Функциональная модель процесса выявления значимых событий дня

Для описания процесса деятельности используется язык UML. Предполагается наличие 3 агентов в диаграмме прецедентов (рис. 6): Пользователь, Отчет, БД. Пользователю предоставляется возможность запустить процессы: сбора и обработки публикаций новостных телеграм каналов, а также вывода значимых событий дня на информационную панель. Без участия пользователя данные процессы не запустятся. По окончании вышеуказанных процессов результаты их работы сохраняются в базу данных. Также есть возможность указать дату и вид значимых событий при выводе их на информационную панель. После вывода событий предлагается сформировать отчет.

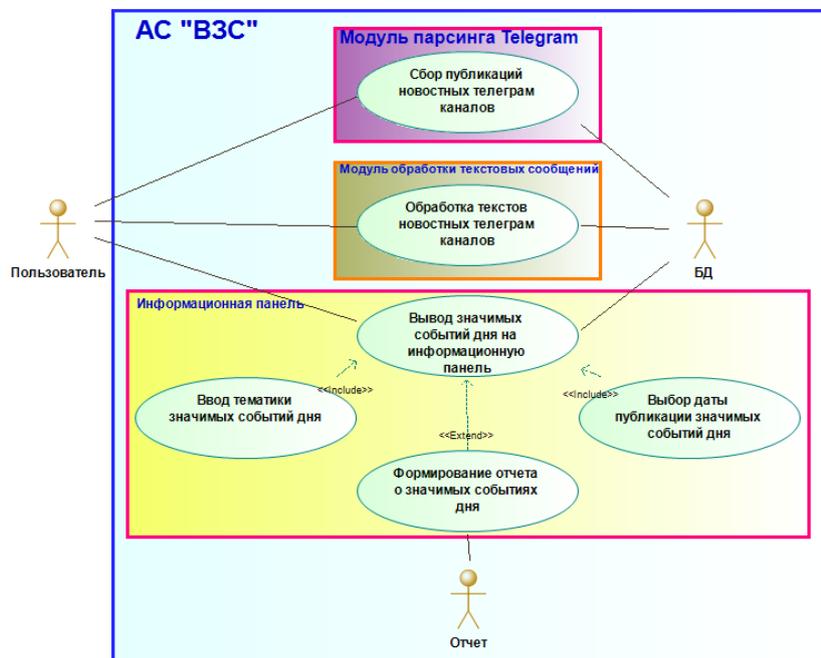


Рис. 6. Диаграмма прецедентов процесса в нотации UML

На основе диаграммы разработан алгоритм работы системы выявления значимых событий дня (рис. 7).

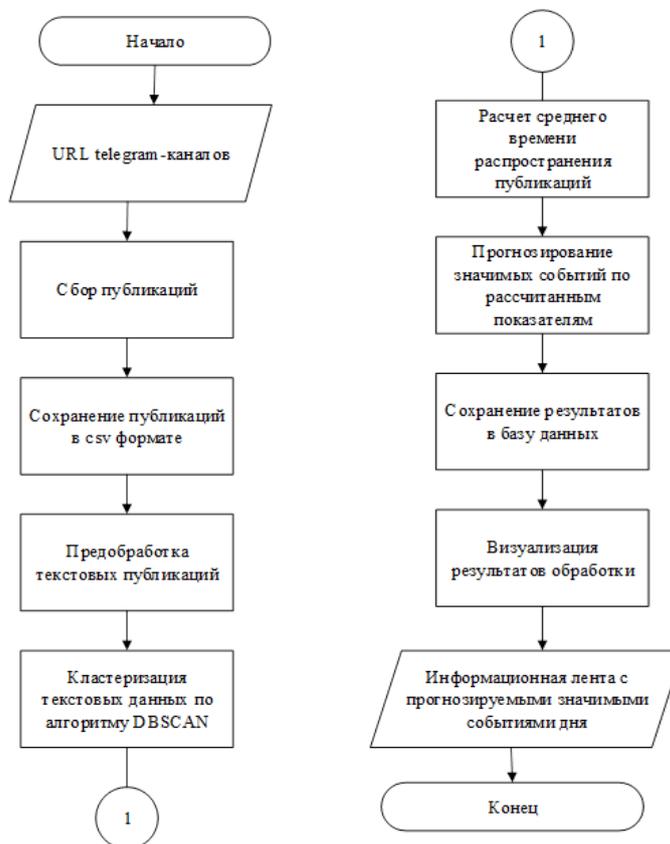


Рис. 7. Алгоритм выявления значимых событий дня

Первоначальной задачей является получение URL адресов телеграмм-каналов, с которых будет происходить сбор новостных публикаций за последние сутки. После чего с указанных телеграмм-каналов путем парсинга собираются публикации, вместе с количеством просмотров, лайков и репостов, а также названием телеграм канала и сохраняются в csv файл. Далее начинается процесс подготовки текстов к их обработке и выявлению значимых событий дня, который заключается в очистке текстов от csv-разметки, метаданных и служебных слов. После происходит процесс обработки текстов данных, а именно на первом процессе обработки тексты подвергаются векторизации, при помощи которой формируется матрица слов в массиве документов. Далее происходит процесс кластеризации обработанных текстов, на основании которого определяются количество источников для каждого сообщения. После кластеризации происходит расчет еще одного параметра, а именно средней скорости распространения публикации. На основании рассчитанных параметров происходит прогнозирование и выявление значимых событий дня. Выявленные значимые события сохраняются в базу данных. Далее следует этап формирования визуального представления выявленных событий.

В качестве алгоритма кластеризации был выбран алгоритм DBSCAN, поскольку данный алгоритм имеет ряд преимуществ, которые в большей степени подходят для нашей работы.

Реализация описанного алгоритма в виде программного модуля позволяет расширить возможности систем выявления значимых событий дня, что повысит в целом качество обработки текстовой информации для дальнейшей работы с ней. Экранная форма пользовательского интерфейса макета программы выявления значимых событий дня приведена на рисунке 8.

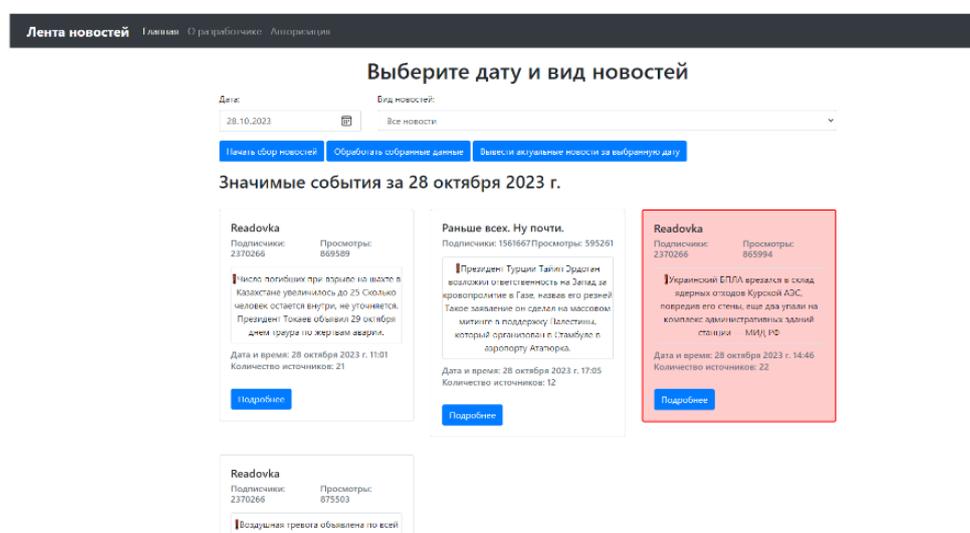


Рис. 8. Макет программы выявления значимых событий дня

Таким образом, в работе предложен алгоритм выявления значимых событий дня, получивший практическую проверку на программном макете. Направлением дальнейших является совершенствование предложенных решений.

В целом задачи выявления, отслеживания и группировки событий на основе анализа новостей являются актуальными, имеют большое практическое значение и могут оперативно решаться с использованием онлайн-доступа к существующим поисковым системам и сервисам.

Список литературы

1. Статистика Telegram в 2023 г. – инквизитор [Электронный ресурс], 2023. Режим доступа: <https://inclient.ru/telegram-stats/>.
2. Воронкин А.С. Социальные сети: эволюция, структура, анализ – Луганск, 2019. - 675 с.
3. Ландэ, Д.В. Выявления новых событий дня из потока новостей [Электронный ресурс] / Диалог-21, 2023. Режим доступа <https://www.dialog-21.ru/media/1873/52.pdf> – свободный.
4. Ландэ, Д.В. Теория информационного поиска. Киев, 2006. 42 с.
5. Научные статьи и отчеты – Компания Яндекс [Электронный ресурс] / Сеголович И. Как работают поисковые системы. М.: "Яндекс", 2023. Режим доступа к ресурсу <http://download.yandex.ru/company/iworld-3.pdf>, свободный.

Бородаценко Антон Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, сотрудник, bay55@mail.ru, Россия, Орел, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации,

Коленкин Егор Алексеевич, сотрудник, igorbel12345@gmail.com, Россия, Орел, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации,

Сазонова Елена Александровна, канд. пед. наук, сотрудник, gea.07@mail.ru, Россия, Орел, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CLASSIFYING SHORT TEXT MESSAGES OF NEWS FEEDS OF SOCIAL NETWORKS

A.Yu. Borodashchenko, I.E. Belkin, E.A. Sazonova

An algorithm for classifying short text messages based on the use of classification dictionaries is proposed.

Key words: reference dictionary, automatic text classification, classifier.

Borodashchenko Anton Yurievich, candidate of technical sciences, docent employee, bay55@mail.ru, Russia, Orel, Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation,

Kolenkin Egor Alekseevich, employee, igorbel12345@gmail.com, Russia, Orel, Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation,

Sazonova Elena Aleksandrovna, candidate of pedagogical sciences, employee, gea.07@mail.ru, Russia, Orel, Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation

УДК 69.059

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-172-173

ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

А.А. Лапидус, Т.Х. Бидов, А.О. Хубаев

Рассматриваются ключевые финансовые и технологические проблемы организации капитального ремонта в Российской Федерации. Представлены результаты изучения и анализа опыта проведения капитального ремонта многоквартирных жилых домов в различных регионах Российской Федерации. Исследование в данной статье направлено на изучение и оптимизацию организационно-технических решений при капитальном ремонте многоквартирных жилых домов. Целью исследования является совершенствование организации процессов проведения капитального ремонта многоквартирных жилых домов на всех этапах жизненного цикла. Научная гипотеза заключается в предположении возможности повышения эффективности капитального ремонта многоквартирных жилых домов. Сформирована и описана методика исследования, а также составлена программа сбора данных. Представлены результаты проведенного исследования. Определены дальнейшие этапы и пути исследования.

Ключевые слова: капитальный ремонт, многоквартирные жилые дома, оптимизация, организационно-технологические решения, типизация, натурные исследования.

В настоящее время процесс капитального ремонта зданий и инфраструктуры является важным элементом обеспечения их долгосрочной функциональности и безопасности. [1] Однако несмотря на его важность, отсутствие четко установленных современных норм, стандартов и подходов для проведения капитального ремонта может привести к различным проблемам, включая непредвиденные затраты, качественные недочеты и задержки в сроках выполнения работ. [2]

Понятие капитального ремонта в Российской Федерации появилось относительно недавно, поэтому процесс проведения капитального ремонта на всех его этапах жизненного цикла сопровождается различным сложностями и проблемами. [3] В связи с этим исследования по данной теме являются актуальными. Тема капитального ремонта уже активно изучается научным сообществом. Опубликовано множество научных статей. [4-8] Наше исследование будет направлено на изучение и оптимизацию организационно-технических решений при капитальном ремонте многоквартирных жилых домов.

Рассматривая опыт различных регионов Российской Федерации, мы выделили ключевые моменты, которые помогут сформировать эффективные организационно-технические решения, которые будут способствовать повышению качества и надежности капитального ремонта, а также срока выполнения работ.

Командой научных сотрудников из НИУ МГСУ ведутся активные исследования в области оптимизации и повышения эффективности капитального ремонта. [9-11] Эти исследования направлены на изучение существующих практик и подходов в различных регионах, анализ существующих стандартов и нормативов, применяемых в области капитального ремонта жилых многоквартирных домов. Целью исследования является совершенствование организации процессов проведения капитального ремонта на всех этапах жизненного цикла. Научная гипотеза заключается в предположении возможности повышения эффективности капитального ремонта на основе алгоритма принятия организационно-технических решений. [12-16] Для достижения поставленной цели необходимо решить большое количество задач, которые были структурированы на определенные последовательные группы задач. В начале исследования необходимо было проанализировать действующие нормативно-технические документы, регламентирующие вопросы проведения капитального ремонта многоквартирных домов. [17,18] В процессе анализа необходимо было решить следующие задачи:

- описать действующую процедуру определения потребности (необходимости) в капитальном ремонте многоквартирного дома;
- выполнить анализ действующего законодательства Российской Федерации;

- разработать перечень типов многоквартирных домов, вариантов конструктивных элементов и инженерных систем, а также критерии определения типов домов;
- проанализировать утвержденные в субъектах РФ перечень и состав работ по капитальному ремонту;
- выполнить анализ стоимости выполненных работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирных домах в субъектах Российской Федерации;

Ранее, по результатам исследований и анализа действующих нормативно-технических документов, регламентирующих вопросы проведения капитального ремонта многоквартирных домов, был сформирован перечень типов многоквартирных домов с учетом вариантов конструктивных элементов по следующим критериям согласно таблице. [19-21].

Критерии типизации МКД

№	Наименование критерия	Маркировка (шифр) критерия
1.	Наибольшее количество этажей	N
2.	Тип фундамента	F
3.	Наличие подвала	B
4.	Тип фасада	K
5.	Тип крыши	R
6.	Количество лифтов	L
7.	Тип системы электроснабжения	E
8.	Тип системы теплоснабжения	H
9.	Тип системы горячего водоснабжения	HW
10.	Тип системы холодного водоснабжения	CW
11.	Тип системы водоотведения	S
12.	Тип системы газоснабжения	G
13.	Тип системы вентиляции	V
14.	Тип системы пожаротушения	O
15.	Тип системы водостока	D

По результатам обработки всех предоставленных данных сформированы типы многоквартирных домов с учетом вариантов конструктивных элементов в разрезе каждого типа дома, всего с учетом предложенных критериев типизации сформировано 42 типа многоквартирных жилых домов. [22]

Для дальнейшего проведения исследования были определены дома-представители каждого типа домов, в которых проведен и не проведен капитальный ремонт, расположенных на территории 4 субъектов Российской Федерации. Подход выбора субъектов РФ основан на наличие в регионе значительного количества домов-представителей двух и более типов.

Процесс сбора и анализа недостающей информации, в том числе путем изучения фактического состояния домов, на территории 4 субъектов Российской Федерации, необходим для подготовки оформления и подтверждения промежуточных результатов, которые были достигнуты на начальных этапах исследования. Для реализации сбора и анализа недостающей информации была сформирована «программа сбора данных», представляющая из себя пошаговый алгоритм действий с первое по шестое (рис. 1).



Рис. 1. Программа проведения сбора и анализа данных

После определения 4 субъектов Российской Федерации и адресного перечня домов, в котором проводился капитальный ремонт и планируется проведение капитального ремонта в краткосрочной программе, был сформирован запрос с предоставлением перечня документов по каждому типу дома. Состав перечня документов с расшифровкой представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Перечень документации

Изучения и анализ данного перечня документов позволит решить следующие задачи:

Определение достоверности результатов анализа утвержденных в субъектах РФ перечней и состава работ по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов;

Определения достоверности результатов анализа стоимости выполненных работ по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов;

Формирования перечня работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирном доме и состав таких услуг и работ по каждому типу домов;

Разработка альбомов типовых технических решений проведения капитального ремонта конструктивных элементов и инженерных систем для каждого типа дома.

Следующим шагом стало осуществления выезда четырех групп исследователей в четыре региона Российской Федерации для осуществления сбора данных. После сбора данных была осуществлена их камеральная обработка.

Собранная по результатам выезда информация позволила подтвердить ранее сформированную последовательность проведения капитального ремонта многоквартирного жилого дома. Она включила в себя шесть этапов.

1. Определение потребности в капитальном ремонте;
2. Планирование работ по капитальному ремонту;
3. Проведение работ по обследованию технического состояния;
4. Проектирование работ по капитальному ремонту;
5. Выполнение работ по капитальному ремонту;
6. Приемка работ по капитальному ремонту.

Еще одним результатом стало подтверждение процедуры определения потребности (необходимости) в капитальном ремонте многоквартирных домов в 4 регионах. Выявлено, что основными критериями, для определения потребности (необходимости) проведения капитального ремонта в многоквартирном доме являются:

- степень физического износа элемента;
- год ввода дома в эксплуатацию;
- дата последнего капитального ремонта;
- объем фактически поступивших платежей по оплате за жилые помещения.

Установлены и фактически подтверждены типы зданий, строительных конструкций, их конструктивных элементов и инженерных систем для определения потребности (необходимости) в проведении капитального ремонта многоквартирных домов.

Представленная организационно-технологическая документация, по которой выполнялись работы по капитальному ремонту МКД, содержала устаревшие технологические решения. Также было выявлено применение материалов, не соответствующих современному уровню развития науки и техники. Установлена причина больших расхождений средних приведенных стоимостей одних видов работ в рамках одного типа дома.

Проведенный сбор дополнительных данных путем фактического изучения состояния домов подтвердил необходимость более детального изучения состава работ в рамках видов работ по капитальному ремонту МКД.

Несмотря на уже имеющиеся и действующие подходы к проведению капитального ремонта, отсутствует единая техническая политика в нашей стране. Разработка единой технической политики позволит повысить эффективность и качество капитального ремонта многоквартирных жилых домов, а также устранить противоречия в определении потребности в капитальном ремонте в различных регионах. Результаты, которые представлены в данной статье, сформировали достаточную базу для проведения дальнейшего исследования.

Список литературы

1. Хубаев, А. О. Анализ и сбор данных для проведения капитального ремонта в России / А. О. Хубаев, Б. Р. Долов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 7. С. 625-628. DOI 10.24412/2071-6168-2023-7-625-626.
2. Анализ основных проблем планирования программ капитального ремонта / А. Ю. Кагазежев, Р. С. Фатуллаев, А. О. Хубаев, Я. В. Шестерикова // Перспективы науки. 2022. № 12(159). С. 81-86.

3. Осуществление функций технического заказчика при капитальном ремонте жилых зданий / А. А. Лapidус, Р. С. Фатуллаев, А. А. Ткаченко, Г. А. Сабанов // Components of Scientific and Technological Progress. 2023. № 4(82). С. 50-55.
4. Комплексное обследование объекта социального назначения для разработки проекта усиления конструкций здания / Т. Х. Бидов, А. О. Хубаев, Р. С. Фатуллаев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. Вып. 12. С. 385-390. DOI 10.24412/2071-6168-2022-12-385-391.
5. Особенности разработки проекта организации строительства для объектов жилого назначения в рамках программы реновации / Т. Х. Бидов, Р. С. Фатуллаев, А. О. Хубаев [и др.] // Строительное производство. 2022. № 4. С. 100-105. DOI 10.54950/26585340_2022_4_100.
6. Анализ трудоемкости ремонтных работ в разных странах / Р. С. Фатуллаев, Т. Х. Бидов, А. О. Хубаев, Т. К. Кузьмина // Строительное производство. 2022. № 4. С. 86-90. DOI 10.54950/26585340_2022_4_86.
7. Формирование индексов перехода от базового уровня цен к уровням цен в отдельных субъектах РФ в рамках разработки сборника укрупненных базовых стоимостей работ по капитальному ремонту МКД / Р. С. Фатуллаев, Т. Х. Бидов, Д. Э. Абдрашитова, Г. А. Сабанов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 3. С. 389-393. DOI 10.24412/2071-6168-2023-3-389-393.
8. Оценка влияния комплексного обследования технического состояния здания на примере объекта культурного наследия / Д. Д. Ельникова, Я. В. Шестерикова, Т. Х. Бидов, Р. С. Фатуллаев // Components of Scientific and Technological Progress. 2023. № 6(84). С. 14-18.
9. Анализ стоимости выполненных работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирных жилых домах в субъектах Российской Федерации / А. А. Лapidус, Р. С. Фатуллаев, Т. Х. Бидов, Д. М. Николенко // Строительное производство. 2023. № 2. С. 3-7. DOI 10.54950/26585340202323.
10. Фатуллаев, Р. С. Использование современных строительных материалов как фактор, влияющий на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта / Р. С. Фатуллаев, Т. Э. Хаев // Перспективы науки. 2019. № 5(116). С. 224-228.
11. Организационно-технологическое моделирование комплексной оценки потенциала проведения внеплановых ремонтных работ / А. А. Лapidус, Д. В. Топчий, Р. С. Фатуллаев [и др.]. М.: Издательство АСВ, 2023. 89 с. ISBN 978-5-4323-0472-8.
12. Modern Russian high-tech construction materials and their application in domestic construction industry (on example of metal-ceramic panels Hardwall) / A. Khubaev, T. Bidov, A. Bzhienikov, V. Nesterova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 21, Construction - The Formation of Living Environment, Moscow, Vol. 365, 3. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2018. P. 032005. DOI 10.1088/1757-899X/365/3/032005.
13. Lapidus, A. The study of the calibration dependences used when testing the concrete strength by nondestructive methods / A. Lapidus, T. Bidov, A. Khubaev // MATEC Web of Conferences, Warsaw, Vol. 117. Warsaw: EDP Sciences, 2017. P. 00094. DOI 10.1051/mateconf/201711700094
14. Khubaev, A. Analysis of physical and mechanical properties of vacuum treated claydite-concrete / A. Khubaev, T. Bidov, A. Rybakova // MATEC Web of Conferences, Rostov-on-Don, 17–21 сентября 2018 года. Vol. 196. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2018. P. 04071. DOI 10.1051/mateconf/201819604071.
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019661940 Российская Федерация. Расчет потенциала производства зимнего бетонирования при перепрофилировании промышленных объектов : № 2019660544 : заявл. 16.08.2019 : опубл. 12.09.2019 / Д. В. Топчий, А. А. Лapidус, А. О. Хубаев.
16. Influence of the Results of Verification Calculations of the Building on the Comprehensive Examination and Determination of the Technical Condition of the Bearing Structures of the Building / R. S. Fatullaev, Ya. V. Shesterikova, T. Kh. Bidov, M. Koroteeva // International Journal of Engineering Trends and Technology. 2023. Vol. 71, No. 7. P. 134-140. DOI 10.14445/22315381/IJETT-V71I6P216.
17. Fatullaev, R. S. Evaluation of Biotic Damage to Structures as a Risk Factor for Environmental Pollution During a Comprehensive Survey of the Cultural Heritage Site of Regional Significance "The Building of the Izvestia Newspaper" / R. S. Fatullaev, T. Kh. Bidov // XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022" : Collection of materials of the 15th International Scientific Conference. Global Precision Ag Innovation 2022, Rostov-on-Don, 02–04 марта 2022 года. Vol. 575. Rostov-on-Don: Springer Cham, 2023. P. 150-160. DOI 10.1007/978-3-031-21219-2_15.
18. Fatullaev, R. Assessment of the possibility of improving the efficiency of the organizational and technological model of the building under construction through the use of foreign single estimated standards for construction works / R. Fatullaev, V. Gergaulova, S. Aydarov // E3S Web of Conferences, Chelyabinsk, 17–19 февраля 2021 года. Chelyabinsk, 2021. P. 09022. DOI 10.1051/e3sconf/202125809022.
19. Эмба, С. И. Критерии и категории потребности проведения капитального ремонта многоквартирных жилых домов / С. И. Эмба, С. И. Кормухин // Строительное производство. 2023. № 2. С. 8-23. DOI 10.54950/26585340_2023_2_8.
20. Классификация и определение типов многоквартирных домов, подлежащих капитальному ремонту / А. А. Лapidус, С. И. Эмба, С. А. Кормухин, Е. Т. Билонда // Строительное производство. 2022. № 4. С. 58-64. DOI 10.54950/26585340_2022_4_58.
21. Методика оценки потребности проведения капитального ремонта для каждого типа многоквартирного дома / А. А. Лapidус, С. И. Эмба, Е. Билонда Трегубова, С. А. Кормухин // Инженерный вестник Дона. 2023. № 5(101). С. 298-312.
22. Методика типизации многоквартирных домов, подлежащих капитальному ремонту общего имущества / А. А. Лapidус, С. И. Эмба, Е. Б. Трегубова, С. А. Кормухин // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 2(770). С. 56-64. DOI 10.32683/0536-1052-2023-770-2-56-64.

Лapidус Азарий Абрамович, Заслуженный строитель Российской Федерации. Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, Почётный строитель России, Почётный строитель города Москвы, Почётный работник Высшего профессионального образования РФ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, LapidusAA@mgsu.ru. Россия, Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

Бидов Тембот Хасанбиевич, канд. техн. наук, доцент, Директор Научно-образовательного центра «Конструкции, технологии и организация строительства», BidovTH@mgsu.ru, Россия, Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

Хубаев Алан Олегович, канд. техн. наук, доцент, младший научный сотрудник Научно-образовательного центра «Конструкции, технологии и организация строительства», KhubaevAO@mgsu.ru, Россия, Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

STUDY OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SOLUTIONS WHEN CARRYING OUT MAJOR REPAIRS OF MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL BUILDINGS.

A.A. Lapidus, T.H. Bidov, A.O. Khubaev

The key financial and technological problems of capital repair organization in the Russian Federation are considered. The results of studying and analyzing the experience of capital repair of apartment buildings in different regions of the Russian Federation are presented. The research in this article is aimed at studying and optimizing organizational and technical solutions in the capital repair of apartment buildings. The purpose of the study is to improve the organization of the processes of capital repair of apartment buildings at all stages of the life cycle. The scientific hypothesis consists in the assumption of the possibility of increasing the efficiency of capital repair of apartment buildings. The research methodology is formed and described, and the data collection program is compiled. The results of the conducted research are presented. Further stages and ways of the research are determined.

Key words: capital repair, apartment buildings, optimization, organizational and technological solutions, typification, field research.

Lapidus Azariy Abramovich, Honored Builder of the Russian Federation. Laureate of the RF Government Prize in the field of science and technology, Honorary Builder of Russia, Honorary Builder of Moscow, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, doctor of technical sciences, professor, head of the department, LapidusAA@mgsu.ru, Russia, Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering,

Bidov Tembot Khasanbievich, candidate of technical sciences, docent, Director of the Scientific and Educational Center "Designs, Technologies and Organization of Construction", BidovTH@mgsu.ru, Russia, Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering,

Khubaev Alan Olegovich, candidate of technical sciences, docent, junior researcher of the Scientific and Educational Center "Designs, Technologies and Organization of Construction", KhubaevAO@mgsu.ru, Russia, Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering

УДК 004

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-176-177

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИКИ СВЯЗИ

А.В. Боговик, Д.М. Сафиулов

В статье предлагается методологический подход к формированию вариантов архитектуры системы мониторинга технического состояния техники связи инфокоммуникационных сетей специального назначения, основанных на принципах построения NGN-сетей и концепции Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ). Рассматривается технология и особенности разработки многоуровневой структуры и алгоритмов функционирования системы мониторинга.

Ключевые слова: NGN-сети, глобальная информационная инфраструктура, инфокоммуникационное ядро, система мониторинга, поддержка процесса мониторинга.

Постановку задачи формирования определенной архитектуры системы мониторинга технического состояния техники связи (СМ) и ее компонент: автоматизированных рабочих мест (АРМ) должностных лиц (ДЛ) органов управления связью (ОУС), комплекса средств автоматизации (КСА), сети передачи данных мониторинга автоматизированной системы управления связью (АСУС), подсистемы поддержки процессов мониторинга (ППМ), можно сформулировать следующим образом:

$\{BT \times TA^+\} \rightarrow \{Серв \times ФПМ\} \rightarrow \{ДЛ ОУС \times Зад\} \rightarrow \{Ур \times Сет\},$ (1)
{BT} – множество базовых технологий; {TA} – множество технологий адаптации; {Серв} – множество сервисов для поддержки процесса мониторинга; {ФПМ} – множество функций процесса мониторинга; {ДЛ ОУС} – множество должностных лиц органов управления связью; {Зад} – множество задач мониторинга; {Ур} – множество уровней архитектуры системы мониторинга; {Сет} – множество сетей, реализующих услуги по уровням архитектуры.

Результативность работы ДЛ ОУС, реализующих автоматизированное решение комплекса задач при планировании, боевом применении и восстановлении телекоммуникационных сетей, определяющим образом связана с наличием в структуре АСУС соответствующих подсистем информационной и вычислительной поддержки [1].

Подсистема ППМ должна представлять собой интерактивную человеко-машинную систему, призванную реализовать информационную и вычислительную поддержку работы ДЛ ОУС на всех этапах мониторинга сетей связи специального назначения. Она должна позволить усилить способности ДЛ по сбору, восприятию и анализу всех данных, необходимых для реализации задач мониторинга состояния техники связи, решению информационных и расчетных задач, отображению решений по организации системы связи, их документированию и доведению. В состав подсистемы ППМ должны входить серверы, предоставляющие соответствующие услуги (сервисы) ДЛ, АРМ ДЛ и другие технические средства, информационная и вычислительная база (в виде информационных массивов, моделей системы связи, модели принятия решений и др.), соответствующие программные средства и обслуживающий персонал.

В архитектурном плане основой подсистемы ППМ является ее инфокоммуникационное ядро, которое должно строиться не только в соответствии с принципами NGN-сетей, но в большей степени на основе концепции Глобальной информационной инфраструктуры (Global Information Infrastructure, GII), которая позволяет ДЛ ОУС пользоваться всеми доступными услугами инфокоммуникаций [2].

ДЛ ОУС могут воспользоваться услугами инфокоммуникаций ПМ напрямую или с помощью пользовательских приложений. При этом все компоненты пользовательских приложений должны поддерживаться в подсистеме ППМ, которые, как и услуги (сервисы), должны объединяться в пакеты, чтобы создать для конкретного ДЛ требуемую сложную услугу или предоставить доступ к требуемому приложению, рисунок 1.

Решение многочисленных задач мониторинга возможно только при наличии их достаточно корректного вербального, содержательного и, если удастся, формализованного описания с использованием определенных математических конструкций, отражающих основные параметры и законы функционирования, существенные для достижения целей мониторинга.

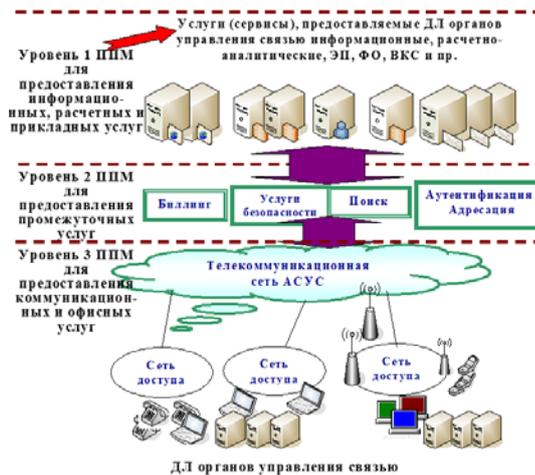


Рис. 1. Многоуровневая архитектура ППМ

Так как в качестве основной цели создания ППМ выступает представление ДЛ органов управления разнообразных расчетных, информационных, телекоммуникационных, офисных и др. услуг требуемого качества, то в качестве базовой логической архитектурной модели может быть взята трехуровневая архитектура, каждый уровень которой задается определенной сетью услуг, предоставляющей фиксированные услуги конкретного уровня ППМ, рисунок 2.

Такой подход, аналогичный модели взаимодействия открытых систем, позволяет рассматривать каждый уровень (или каждую уровневую сеть) независимо от остальных, поэтому независимо рассматривать процессы предоставления ими соответствующего сервиса.

Каждая уровневая сеть услуг ППМ описывается графом $G(Y_A, H_b)$, $G(J_A, E_b)$ и $G(R_A, Q_b)$, представляющим собой модель соответствующей сети услуг каждого из уровней ППМ.



Рис. 2. Трехуровневая сетевая архитектурная модель ППМ

Выделенные в ППМ уровневые инфраструктурный, промежуточный и базовый компоненты (ИК, ПК и БК), соответствующие соответственно уровням 1, 2, и 3, определяют функционирование каждой уровневой сети в условиях различных случайных и преднамеренных воздействий, характеризуя такое важное ее свойство как устойчивость. При этом в качестве моделей устойчивости ППМ, в плоскости уровневого ее представления, могут быть

получены соответствующие выражения для вероятностей качественного функционирования уровней компонент в условиях воздействия противника, соответственно для инфраструктурного, промежуточного и базового компонент ППМ P_{IL} , P_{PrL} , P_{BL} .

При этом ППМ будем считать устойчивой, если выполняются неравенства:

$$P_{IL} \geq P_{1L}; \quad P_{PrL} \geq P_{2L}; \quad P_{BL} \geq P_{3L}. \quad (2)$$

Типовая структура каждого уровня ППМ обычно представляется графом $G(Y, B)$ с множеством вершин $Y = \{Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_j, \dots, Y_N\}$ и множеством дуг $B = \{b_{ij}\}$. При этом каждому элементу $Y_i \in Y$ ставится в соответствие определенный узел предоставления услуг сети уровня (сервер соответствующей службы), а элементу $b_{ij} \in B$ – определенная виртуальная ветвь уровневой сети (виртуальный канал передачи информации для определенного сервиса).

В силу конечной надежности и живучести комплексов и оборудования каждой уровневой сети ППМ ее структура не остается неизменной и будет постоянно меняться в процессе функционирования системы мониторинга.

Процессы, протекающие на каждом из трех функциональных уровней ППМ, должны быть заданы математически единообразно в виде соответствующих моделей обслуживания. Иными словами, каждый элемент инфраструктурного, промежуточного или базового компонента ППМ должен представляться моделью обслуживания, описываемой выражениями для соответствующих вероятностей состояния модуля обслуживания:

В соответствии с этим динамические модели каждого i -го элемента базового компонента, k -го элемента промежуточного компонента и r -го элемента инфраструктурного компонента ППМ могут быть представлены как модули обслуживания, описываемые соответствующими системами уравнений.

В моделях компонент ППМ задающими входными процессами являются потоки требований на получение услуг с интенсивностями λ_{IC} , λ_{PrC} , λ_{BC} , а выходными – потоки сервисных сообщений обслуживания, интенсивности которых определяются вероятностями соответствующих состояний P_n^{IC} , P_n^{PrC} , P_n^{BC} .

При этом каждый уровневый поток требований будет являться суммой потоков требований на обслуживание для каждого сервиса данного уровня, т.е.

$$\lambda_{IC} = \sum_{\varepsilon} \lambda_{IC}(serv_{IC}) \quad (3)$$

$$\lambda_{PrC} = \sum_{\varepsilon} \lambda_{PrC}(serv_{PrC}) \quad (4)$$

$$\lambda_{BC} = \sum_{\varepsilon} \lambda_{BC}(serv_{BC}) \quad (5)$$

А соответствующие вероятности P_n^{IC} , P_n^{PrC} , P_n^{BC} будут определяться как величиной интенсивностей запросов на сервис и интенсивностью их обслуживания, так и показателями многоканальности соответствующих серверов служб:

$$P_{n_{IC}}^{IC} = \{P_{n_{IC}}^{IC}(serv_{IC})\} = \{f_{IC}[\lambda_{IC}(serv_{IC}), \mu_{IC}(serv_{IC}), n_{IC}(serv_{IC})]\} \quad (6)$$

$$P_{n_{PrC}}^{PrC} = \{P_{n_{PrC}}^{PrC}(serv_{PrC})\} = \{f_{PrC}[\lambda_{PrC}(serv_{PrC}), \mu_{PrC}(serv_{PrC}), n_{PrC}(serv_{PrC})]\} \quad (7)$$

$$P_{n_{BC}}^{BC} = \{P_{n_{BC}}^{BC}(serv_{BC})\} = \{f_{BC}[\lambda_{BC}(serv_{BC}), \mu_{BC}(serv_{BC}), n_{BC}(serv_{BC})]\} \quad (8)$$

Показатели качества функционирования ППМ определяются сущностью процессов мониторинга и управления с использованием этой подсистемы, которая заключается в реализации автоматизированных операций перехода от общих представлений о системе связи специального назначения к детальной разработке ее составных частей, компонент и элементов, последовательной детализации элементов системы связи, а затем объединения их в единое целое – модель системы связи специального назначения, и определяют степень полезности ППМ для ДЛ ОУС при осуществлении ими задач мониторинга технического состояния техники связи [3].

Для реализации схем автоматизированного мониторинга с точки зрения системного подхода, ППМ должна представлять собой сложный распределенный программно-аппаратный комплекс, основу которого составляет методологический комплект методических компонентов, определяющих принципы, методы и способы и включающий разнообразные (имитационные, аналитические, логико-лингвистические и др.) модели системы связи и отдельных процессов планирования связи, ее элементов и компонентов и т.п. и предоставлять целый ряд сервисов, к которым можно обратиться и получить соответствующие расчетные, информационные, справочные, офисные или иные требуемые услуги.

Выбор и обоснование качественных показателей функционирования ППМ является достаточно сложной задачей, сложность которой во многом определяется сложностью самого мониторинга и требований со стороны ДЛ ОУС к этой подсистеме. Естественно, что показатели качества функционирования ППМ, характеризующие ее полезность, должны быть связаны с характеристиками процессов предоставления ДЛ требуемых сервисов.

Таким образом, для оценивания функционирования, выбора вариантов организации ППМ целесообразно ввести комплексный показатель качества ее функционирования – некоторую функцию полезности, и критерий качества функционирования, которые могут иметь следующий вид:

$$Q_{ППМ} = Q\{P_{ТППМ}, P_{n_{отн}_{уз}}, K_{serv}, Kad_{inf}\}; \quad (9)$$

$$Q_{ППМ} \geq Q_{kp}, \quad (10)$$

где Q_{kp} – минимально допустимый уровень качества обслуживания ДЛ ОУС; $P_{ТППМ}$ – показатели, характеризующие своевременность предоставления услуг для каждого конкретного i -го сервиса соответствующего уровня ППМ; $P_{n_{отн}_{уз}}$ – показатели полноты предоставляемых услуг, характеризующие долю предоставляемых услуг от необходимого числа; K_{serv} – коэффициент комплексной готовности, характеризующий устойчивость ППМ; K_{inf} – коэффициент информационной готовности, характеризующий уровень безопасности ППМ; P_{ad} – показатель адекватности (обоснованности) ППМ.

Функция полезности $Q_{ППМ}$ должна зависеть от показателей $P_{ТППМ}$, характеризующих своевременность предоставления услуг для каждого конкретного i -го сервиса соответствующего уровня ППМ, определяемых временем ожидания сервиса $T_{ож}(i)$ и временем его исполнения (собственно временем обслуживания) $T_{us}(i)$, являющимися случайными величинами, зависимыми от интенсивностей потока требований на предоставление сервиса данного типа (i -го сервиса) $\lambda_c(i)$, от производительности соответствующего сервера, обеспечивающего сервис – величины

$B_{serv}(i)$, характеризующего как число одновременно обслуживаемых запросов ДЛ по получению сервиса ППМ, так и время обслуживания $T_{us}(i)$, задаваемое интенсивностью обслуживания $\mu_{us}(i)$.

В качестве показателя своевременности, т.е. вида функции T^{cb} , требуется использовать функции текущего усреднения, дающего оценку математического ожидания, т.е. для оценки показателя своевременности целесообразно использовать среднее время предоставления ДЛ ОУС сервиса ППМ, соотнесенное к допустимому значению времени предоставления сервиса.

В отдельных случаях в качестве показателя своевременности требуется использовать вероятность своевременного предоставления сервиса, т.е. $P_c(i)$.

Функция полезности $Q_{ППМ}$ должна также зависеть от показателей полноты предоставляемых услуг $P_{n^{otn}_{uz}}$, характеризующих число n_{uz} предоставляемых ДЛ органа управления связью сервисов ППМ и их долю по отношению к общему необходимому числу сервисов N^{TP}_{uz} . В качестве такого показателя целесообразно взять величину относительного числа предоставляемых услуг, показывающую степень охвата комплекса задач мониторинга контуром ППМ. В некоторых случаях потребуются учесть важность тех или иных предоставляемых $Q_{ППМ}$ услуг (сервисов).

Функция полезности $Q_{ППМ}$ должна также зависеть от показателей устойчивости, т.к. ППМ как система характеризуется конечной надежностью, живучестью, помехоустойчивостью, определяемые ее свойство – устойчивость. В качестве показателя устойчивости целесообразно использовать коэффициент комплексной готовности K_{serv} , определяемый средним временем исправной работы, учитывающим выход из строя, выведение из строя противником элементов ППМ, воздействие различных помех, и средним временем восстановления, также учитывающим восстановление ППМ после всех воздействий.

Функция полезности $Q_{ППМ}$ должна также зависеть от показателей безопасности, задаваемых коэффициентом информационной готовности K_{inf} , имеющий тот же смысл, что и коэффициент комплексной готовности, но при информационных воздействиях.

Функция полезности $Q_{ППМ}$ должна также зависеть от показателей адекватности (обоснованности), учитывающих как степень адекватности применяемых в ППМ способов и моделей реальным процессам функционирования системы связи, так и степень обоснованности их применения для решения тех или иных задач мониторинга.

В целом, в качестве $Q_{ППМ}$ требуется взять некоторую безразмерную относительную величину $0 < q_{ППМ} \leq 1$, связанную с временем решения задач мониторинга, т.е. с временными показателями, вероятностными показателями, вероятностно-временными показателями или показателями производительности, которые для ППМ вообще связаны друг с другом, т.к. в значительной степени характеризуют своевременность предоставления услуг. Поэтому требуется выбрать в качестве базового показателя показатель своевременности и соотнести значения других показателей с базовым, применяя механизмы корректировки базового показателя в соответствии со значением других показателей, влияющих на $Q_{ППМ}$, т.е. с показателями $P_{ТПМ}$, $P_{n^{otn}_{uz}}$, K_{serv} , K_{inf} и P_{ad} . При этом для получения интегрального показателя полезности ППМ необходимо использовать методы экспертного оценивания.

Базовые показатели могут быть определены при рассмотрении ППМ в виде многопродуктовой (с разнородным потоком требований на обслуживание) системы массового обслуживания (СМО) (или совокупности СМО) определенного класса: СМО с ожиданием с ограниченным в соответствии с регламентом работы органов управления временем ожидания, на которую поступает поток разнородных требований, обслуживание которых осуществляется с разными интенсивностями, зависимыми от вида сервиса.

При этом должны быть оценены: ее пропускная способность $A_{ППМ}$, вероятность своевременного обслуживания (предоставления сервиса) $P_{servППМ}$, среднее время обслуживания (предоставления сервиса) $T_{servППМ}$, среднее число обслуживаемых запросов ДЛ $Nz_{ППМ}$, среднее значение числа ожидающих требований на получение сервиса $\bar{N}z_{ППМ}$.

При этом каждая уровневая сеть обслуживания ППМ представляется множеством систем массового обслуживания, мощность которого соответствует числу предоставляемых уровнем сервисов. Полученные оценочные значения величин $A_{ППМ}(i)$, $P_{servППМ}(i)$, $T_{servППМ}(i)$, $Nz_{ППМ}(i)$ и $\bar{N}z_{ППМ}(i)$ для каждого i -го сервиса каждого уровня услуг ППМ позволяют произвести анализ каждой уровневой СМО, а также получить на основе этих данных интегральную оценку полезности всей ППМ.

Вместе с тем аналитические выражения для соответствующих величин $A_{ППМ}(i)$, $P_{servППМ}(i)$, $T_{servППМ}(i)$, $Nz_{ППМ}(i)$ позволяют на основе применения соответствующих итерационных процедур произвести синтез уровней компонент ППМ и задать при проектировании научно обоснованные значения характеристик комплексов обслуживания.

В целом при выполнении требования представления ППМ моделью обслуживания могут быть разработаны соответствующие модели:

- процедур предоставления соответствующих сервисов;
- поступающих потоков требований на обслуживание;
- процессов (потоков) обслуживания требований;
- процессов функционирования ППМ как многоуровневой многопродуктовой СМО;
- информационной сети АСУС, обеспечивающей комплекс средств мониторинга обменом управляющей информацией, в т.ч. получение информации от подсистем технологического и оперативно-технического управления АСУС.

Потоки требований, характерных для сети каждого уровня ППМ определяются с одной стороны потребностями ОУС и информационных систем ПУ АСУС, а с другой - процессами функционирования самой ППМ. Важны основные свойства потоков требований.

Стационарность или нестационарность – это одно из основных свойств потоков требований, характеризующих зависимость их вероятностных характеристик от времени.

Другим свойством информационных потоков является отсутствие, частичное присутствие или присутствие последствия, которое характеризует вероятностное развитие процесса поступления требований в зависимости от предыстории.

И, наконец, третьим свойством потоков требований является ординарность или отсутствие ординарности, характеризующее возможность поступления одновременно нескольких требований.

Немаловажной характеристикой потоков, циркулирующих в уровневой сети ППМ, является функция распределения временного интервала между двумя соседними поступающими требованиями и зависимость или независимость случайных величин временных интервалов между двумя поступающими требованиями.

В соответствии с приведенными свойствами и характеристиками потоков требований, циркулирующих в уровневых сетях инфокоммуникационных систем специального назначения, наиболее применяемыми при моделировании процессов в ней, являются:

- примитивный (или пуассоновский стационарный) поток;
- поток Бернулли;
- самоподобный (или фракталообразный) поток.

Примитивный информационный поток обладает всеми тремя свойствами, т.е. он является ординарным, стационарным и без последствия. Для этого потока вероятность того, что на участке времени t поступит ровно k требований (сообщений, пакетов, кадров, ячеек), определяется следующим выражением:

$$P\{N(t, \tau) = k\} = \frac{\alpha^k e^{-\alpha}}{k!}, \quad (11)$$

где $\alpha = \lambda t$, а λ – интенсивность потока.

Естественно модель примитивного информационного потока, хотя достаточно часто используется исследователями и проектировщиками сетей в силу ее простоты и достаточной точности воспроизведения реальных меж-узловых потоков при рассмотрении их в расчетных задачах для так называемых периодов наибольшей нагрузки, не всегда адекватно отражает реальные процессы поступления требований в динамике функционирования ППМ, в которой, как показывают наблюдения, нагрузка постоянно меняется, а в отдельных сетях довольно часто проявляются эффекты группирования требований и последствия (т.е. поток теряет свойство ординарности и отсутствия последствия).

Чаще всего поступающие на узлы услуг (серверы служб), входящих в состав ППМ, реальные потоки требований, можно задать моделью потока Бернулли. Такой поток получается, например, при сборе информации с подчиненных звеньев и при сборе подтверждений о выполнении команд. Поток Бернулли является такой информационный поток, в котором требования поступают независимо друг от друга, но в отличие от примитивного потока, при котором источник требований (сообщений, пакетов, справок, мультимедиа данных) считается бесконечным, в потоке Бернулли их число во временном интеграле фиксировано, а каждое обязательно произойдет в этом интервале (интервал сбора информации с подчиненных звеньев управления ведомствами или корпорациями) с вероятностью, равной 1.

Для ППМ характерен наиболее простой вид потока Бернулли, когда

$$f(t) = \begin{cases} (\Delta t)^{-1} & \text{при } 0 \leq t < \Delta t \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}. \quad (12)$$

При этом вероятность поступления ровно r требований на получение сервиса в интервале $[0, \Delta t]$ составит:

$$P_k(\Delta t) = G_k^r \left(\frac{\Delta t}{\Delta t}\right)^r \left(1 - \frac{\Delta t}{\Delta t}\right)^{k-r}. \quad (13)$$

В последние годы, исследование нагрузки для некоторых сетей, входящих в состав сетей связи специального назначения, таких как сети Ethernet, подсети ISDN при пакетной передаче данных по каналам D абонентских сопряжений, сети общеканальной сигнализации ОКС №7, сети АТМ при передаче с переменной скоростью и в ряде других случаев, позволили обнаружить явление структурного сходства статистических характеристик пакетной нагрузки при ее измерении в разных масштабах времени (самоподобие или фрактальные свойства). Так как основное свойство самоподобного потока – сохранение структуры автокорреляционной функции вне зависимости от параметра агрегирования потока m , то очевидно, что свойства самоподобия чаще возникают в процессе преобразования битового потока в поток ячеек. Поэтому для ППМ такой поток не характерен.

Рассматривая ППМ как многоуровневую многопродуктовую СМО, декомпозируем ее на подсистемы СМО, в соответствии с ее многоуровневой архитектурой по видам предоставляемого сервиса, рисунок 3.

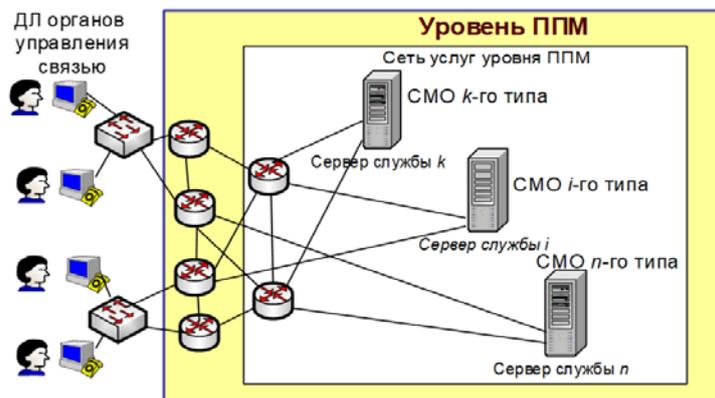


Рис. 3. Представление ППМ в виде многопродуктовой СМО (на примере одного уровня)

Тогда для отдельно взятой i -й подсистемы СМО (СМО i -го типа, соответствующей сервису i -го типа) могут быть получены выражения ее характеризующие.

Так вероятность того, что в соответствующей уровневой службе (предоставляющей сервис i -го вида) в сервере будут заняты $n(i)$ портов, составит:

$$P_{n(i)}(i) = \frac{\frac{(\lambda(i) t_{serv}^{-1}(i))^{n(i)}}{n(i)!}}{\sum_{k=1}^{n_o(i)} \frac{(\lambda(i) t_{serv}^{-1}(i))^k}{k!}} \quad (14)$$

Вероятность того, что соответствующая служба (сервис) будет перегружена обслуживанием и больше не способна принимать требования от ДЛ органов управления по предоставлению соответствующего сервиса, т.е. требование не будет обслужено, составит:

$$P_{n_o(i)}(i) = P_0(i) \frac{(\lambda(i) t_{serv}^{-1}(i))^{n_o(i)}}{n_o(i)!} \quad (15)$$

Вероятность того, что соответствующая служба (сервис) вовремя обслужит соответствующее ДЛ органов управления и предоставит соответствующий сервис составит:

$$P_{O(i)}(i) = 1 - P_0(i) \frac{(\lambda(i) t_{serv}^{-1}(i))^{n_o(i)}}{n_o(i)!} \quad (16)$$

При этом среднее число занятых портов службы составит:

$$N(i) = \sum_{k=1}^{n_o(i)} \frac{(\lambda(i) t_{serv}^{-1}(i))^k}{(k-1)!} P_0(i) \quad (17)$$

Абсолютная пропускная способность соответствующей i -й службы ППМ, предоставляющей сервис i -го типа будет равна:

$$A(i) = \lambda(i) \left[1 - P_0(i) \frac{(\lambda(i) t_{serv}^{-1}(i))^{n_o(i)}}{n_o(i)!} \right] \quad (18)$$

На основе проведенного комплексного анализа системы мониторинга технического состояния техники связи и математического моделирования ключевых процессов, была разработана и детально исследована трехуровневая архитектура подсистемы ППМ. В результате применения аналитических методов были выведены важные вероятностные характеристики функционирования системы, такие как вероятности обслуживания, перегрузки и своевременного предоставления сервисов, что позволило оценить надежность и устойчивость работы ППМ в различных условиях.

Выражения (14) - (18) представляют собой математическое выражение динамической модели работы подсистемы ППМ, учитывая потоки обслуживания и запросов на сервисы различного типа. Они позволяют определить критические показатели эффективности системы и стать основой для оптимизации ее параметров. Абсолютная пропускная способность i -й службы ППМ, предоставляющей сервис i -го типа, является ключевым показателем, который определяет способность системы адекватно реагировать на запросы пользователей и поддерживать требуемый уровень обслуживания даже при высоких нагрузках.

Таким образом, предложенный подход к формированию архитектуры СМ, в том числе созданию и построению математической модели ППМ, может обеспечить достаточно высокую степень надежности и устойчивости функционирования сетей связи специального назначения и ее элементов.

Список литературы

1. Боговик А. В., Сафиулов Д. М. Анализ существующих систем мониторинга технического состояния телекоммуникационного оборудования сетей связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 5. С. 112-117.
2. Боговик А. В., Сафиулов Д. М. Системный анализ реализации работы автоматизированной системы мониторинга технического состояния техники связи узлов связи пунктов управления оперативного объединения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 2. С. 248-251.
3. Боговик А. В., Сафиулов Д. М. Модель оценки качества системы мониторинга технического состояния техники связи и автоматизированных систем управления телекоммуникационных сетей специального назначения // Техника средств связи. 2022. № 4 (160). – С. 59-65.

Боговик Александр Владимирович, канд. воен. наук, профессор, bogovikav@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного,

Сафиулов Давлет Муратович, адъюнкт, davletzas@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE FORMATION OF THE ARCHITECTURE OF THE SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF COMMUNICATION EQUIPMENT

A.V. Bogovik, D.M. Safiulov

The article proposes a methodological approach to the formation of architecture options for monitoring the technical condition of communication technology of special-purpose infocommunication networks based on the principles of building NGN networks and the concept of Global Information Infrastructure (GII). The technology and features of the development of a multi-level structure and algorithms for the functioning of the monitoring system are considered.

Key words: NGN networks, global information infrastructure, infocommunication core, monitoring system, monitoring process support.

Bogovik Alexander Vladimirovich, candidate of military sciences, professor, bogovikav@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny,

Safiulov Davlet Muratovich, adjunct, davletzas@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny

УДК 007.738.5

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-182-183

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СЛУЖБЫ DNS

М.С. Бодякин, С.П. Соколовский

Исследованы процессы функционирования службы доменных имен в условиях сетевой разведки и определены возможности повышения защищенности информационных систем за счет снижения возможностей сетевой разведки при обеспечении заданного уровня ресурсных затрат. Разработана модель конфигурирования параметров службы доменных имен информационных систем в условиях сетевой разведки, которая формализована в виде полумарковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем. Модель позволяет получить вероятностно-временные характеристики исследуемых процессов, необходимых для определения оптимальных значений параметров службы доменных имен, таких как количество доменных имен и время их жизни.

Ключевые слова: параметры службы доменных имен, информационная система, случайный процесс, доступность и защищенность информационных систем.

В постоянно развивающемся цифровом мире невозможно переоценить важность обеспечения безопасности присутствия пользователя в Интернете. Один из наиболее важных аспектов этой безопасности заключается в защите самой основы интернет - коммуникации: системы доменных имен (DNS). В 3 квартале 2023 года был выявлен значительный всплеск DNS-атак в мире. По данным экспертов StormWall, 3% от числа всех зафиксированных атак в мире было направлено на DNS. DNS — это система доменных имен, которая преобразует доменные имена в IP-адреса, позволяя устройствам получать доступ к веб-сайтам. [1] DNS-атака перегружает сервер таким количеством трафика, что он становится недоступным, при этом нарушается его способность преобразовывать доменные имена в IP-адреса. Это нарушает доступ к веб-сайтам и онлайн-сервисам для пользователей. Для эффективной защиты от DNS-атак необходима комплексная стратегия, предусматривающая защиту и резервирование не только конечных ресурсов, но и DNS-инфраструктуры [2].

Текущее положение дел: применение протокола UDP (User Datagram Protocol, RFC-1035), для преобразования доменных имен в IP-адреса, не обеспечивает установления соединения, кроме того изменяющемуся IP-адресу соответствует статическое доменное имя [3]. Одной из перспективных концепций защиты информационных систем, позволяющей скрывать её истинные параметры, является концепция Moving Target Defense (MTD) [4,5,6], суть которой заключается в замене статических параметров сети динамическими.

В данной статье предложена модель конфигурирования параметров службы доменных имен, основанная на MTD, позволяющая решить задачу определения оптимальных параметров службы доменных имен.

С одной стороны, процесс функционирования службы доменных имен информационных систем (ИС) (далее – случайный процесс L_1), может быть представлен как случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем, где в качестве дискретных состояний выступают этапы функционирования случайного процесса L_1 , определенные в RFC-768, а переход между ними осуществляется за счёт поступления в случайный момент времени UDP-пакетов [7].

С другой стороны, процесс функционирования службы доменных имен в условиях сетевой разведки (далее – случайный процесс L_2) может быть представлен как случайный процесс, состоящий из двух состояний: либо параметры службы доменных имен известны злоумышленнику, либо нет. Причем переход из одного состояния в другое зависит от количества предварительно заданных сетевым устройствам поддоменов и доменных имен (параметры n , y), а также времени их жизни (параметр x).

В статье эти процессы рассматриваются как полумарковские, обладающие свойствами простейшего потока событий. В соответствии с [8] основными вероятностными характеристиками полумарковского процесса являются: функция распределения времени ожидания перехода из состояния i в состояние j (далее – $F_{ij}(t)$), а также соответствующие им вероятности перехода (далее – p_{ij}). Данные вероятностные характеристики, вследствие соблюдения свойств простейшего потока, имеют экспоненциальный закон распределения:

$$F_{ij}(t) = 1 - e^{-\lambda_{ij}t} \quad (1)$$

$$p_{ij} = \int_0^{\infty} f_{ij}(t) \prod_{k=1, k \neq j}^n (1 - F_{ik}(t)) dt \quad (2)$$

где: λ_{ij} - интенсивность потока событий, переводящих исследуемые случайные процессы из состояния i в состояние j , $f_{ij}(t)$ – функция плотности распределения времени ожидания перехода из состояния i в состояние j . На (рис. 1) представлен ориентированный граф случайного процесса L_1 , в (табл. 1) описаны его дискретные состояния, а в (табл. 2) приведены вероятностные характеристики.

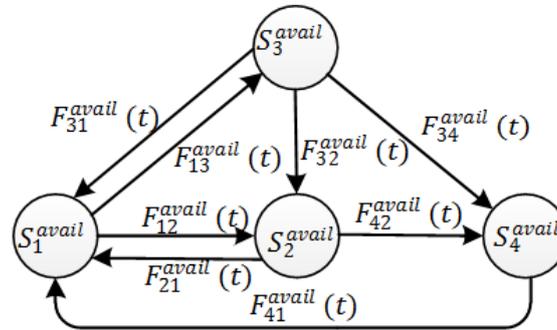


Рис. 1. Граф состояний случайного процесса L_1

Таблица 1

Дискретные состояния случайного процесса L_1

Состояние	Описание состояния
S_1^{avail}	ожидание начала конфигурирования параметров службы доменных имен или окончание получения запросов от средств сетевой разведки
S_2^{avail}	ожидание окончания конфигурирования параметров службы доменных имен
S_3^{avail}	ожидание окончания цикла сетевой разведки
S_4^{avail}	ожидание перегрузки ИС в связи с компьютерной атакой или изменениями параметров службы доменных имен

Таблица 2

Вероятностные характеристики процесса функционирования случайного процесса L_1

Переменная	Описание вероятностных характеристик
$F_{12}^{avail}(t)$	функция распределения времени ожидания конфигурирования параметров службы доменных имен
$F_{13}^{avail}(t)$	функция распределения времени ожидания воздействий от средств сетевой разведки
$F_{21}^{avail}(t)$	функция распределения времени ожидания возврата в исходное состояние после реконфигурирования параметров
$F_{24}^{avail}(t)$	функция распределения времени ожидания перегрузки ИС после конфигурирования параметров службы доменных имен
$F_{31}^{avail}(t)$	функция распределения времени ожидания возврата в исходное состояние после воздействия средств сетевой разведки
$F_{32}^{avail}(t)$	функция распределения времени ожидания конфигурирования параметров службы доменных имен после воздействия средств сетевой разведки
$F_{34}^{avail}(t)$	функция распределения времени ожидания воздействий от средств сетевой разведки на перегрузку ИС после DDOS атаки
$F_{41}^{avail}(t)$	функция распределения времени ожидания перегрузки ИС после сетевой разведки или реконфигурирования параметров

На (рис. 2) представлен ориентированный граф случайного процесса L_2 , в (табл. 3) описаны его дискретные состояния, а в (табл. 4) приведены вероятностные характеристики.

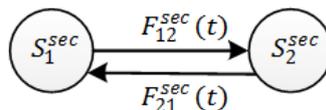


Рис. 2. Граф состояний случайного процесса L_2

Таблица 3

Дискретные состояния случайного процесса L_2

Состояние	Описание состояния
S_1^{sec}	ожидание вскрытия истинных параметров сетевых устройств информационной системы
S_2^{sec}	ожидание реконфигурации параметров службы доменных имен

Таблица 4

Вероятностные характеристики процесса функционирования случайного процесса L_2

Переменная	Описание вероятностных характеристик
$F_{12}^{sec}(t)$	функция распределения времени ожидания вскрытия истинных параметров сетевых устройств информационной системы
$F_{21}^{sec}(t)$	функция распределения времени ожидания реконфигурации параметров службы доменных имен

Математическая модель исследуемого объекта может быть представлена в виде отображения множества входных параметров (множество Z) во множество выходных вероятностно-временных характеристик (множество V):

$$Z^{avail} \rightarrow V^{avail}, Z^{avail} = \{S^{avail}, A^{avail}, X^{avail}\}, V^{avail} = \{P^{avail}\} \quad (3)$$

$$Z^{sec} \rightarrow V^{sec}, Z^{sec} = \{S^{sec}, A^{sec}, X^{sec}\}, V^{sec} = \{P^{sec}\} \quad (4)$$

где: S^{avail}, S^{sec} – множества дискретных состояний исследуемых случайных процессов L_1, L_2 ; A^{avail}, A^{sec} – множества управляемых (неконтролируемых) факторов исследуемых случайных процессов L_1, L_2 ; X^{avail}, X^{sec} – множества управляемых факторов исследуемых случайных процессов L_1, L_2 . $P_1 = \{P_{ij1}(t)\}, P_2 = \{P_{ij2}(t)\}$ – множества интервально-переходных вероятностей пребывания случайных процессов L_1, L_2 в состоянии j из состояния i в момент времени t .

В качестве управляемых и неуправляемых факторов для исследуемых случайных процессов выступают:

$$A^{avail} = \{F_{13}^{avail}(t), F_{21}^{avail}(t), F_{24}^{avail}(t), F_{31}^{avail}(t), F_{34}^{avail}(t), T_{cr}, T_{atac}, T_{szi}, T_{sbros}\}, \quad (5)$$

$$A^{sec} = \{T_{rec}\}, \quad (6)$$

$$X^{avail} = \{F_{21}^{avail}(t), F_{32}^{avail}(t), T_{ttl}, n\}, \text{ при } \lambda_{21}^{avail} = x^{-1} \cdot \lambda_{32}^{avail}(n, T_{ttl}, y)^{-1} \quad (7)$$

$$X^{sec} = \{F_{12}^{sec}(t), F_{21}^{sec}(t), T_{ttl}, n\}, \text{ при } \lambda_{12}^{sec} = x^{-1} \cdot \lambda_{21}^{sec}(n, T_{ttl}, y)^{-1} \quad (8)$$

где: n – количество поддоменов, y – количество доменных имен для одного поддомена, x – время жизни этих доменных имен, T_{cr} – время, затрачиваемое злоумышленником на сканирование одного сетевого устройства, T_{rec} – время, затрачиваемое на реконфигурацию одного доменного имени, T_{atac} – время, затрачиваемое злоумышленником на сканирование одного поддомена, T_{szi} – время, затрачиваемое штатными средствами защиты на обнаружение воздействий средствами сетевой разведки, T_{sbros} – время, затрачиваемое на реконфигурацию информационной системы.

Нахождение выходных вероятностно-переходных характеристик $P_{ij}(t)$ и $G_{ij}(t)$, подробно описано в [9, 10], осуществляется в матричной форме и будет иметь вид (9):

$$P(t) = \{[I - p \times f(s)]^{-1} \Psi(s)\} \quad (9)$$

где I – единичная матрица, а основные вероятностные характеристики в матричной форме будут иметь вид (10), (11):

$$p = \begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{1j} \\ \dots & \dots & \dots \\ p_{i1} & \dots & p_{ij} \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$f(s) = \begin{pmatrix} f_{11}(s) & \dots & f_{1j}(s) \\ \dots & \dots & \dots \\ f_{i1}(s) & \dots & f_{ij}(s) \end{pmatrix} \quad (11)$$

Символ \times обозначает операцию умножения элементов матрицы.

Ввиду однородности потоков событий, переводящих L_1 и L_2 из одного состояния в другое, а также отсутствия в них поглощающих состояний, исследуемые процессы обладают эргодическим свойством, соответственно, имеют стационарный режим, и, как следствие, имеют финальные вероятности [11].

Результат расчетов вероятности нахождения случайных процессов L_1, L_2 в состоянии j из состояния i к моменту времени t представлен на рис. 3,4.

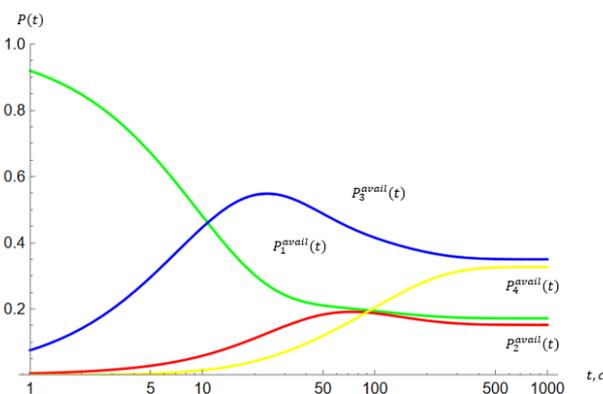


Рис. 3. Результат расчетов вероятности нахождения L_1 в состоянии j из состояния i к моменту времени t

Модель позволяет исследовать процесс функционирования сетевых устройств, при конфигурировании параметров службы доменных имен информационных систем в условиях сетевой разведки. Модель формализована в виде полумарковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем, при этом выходные характеристики (интервально-переходные вероятности, функции распределения первого достижения соответствующего состояния) определяются через основные характеристики полумарковского процесса с экспоненциальным законом распределения.

По графикам (рис. 3, рис. 4) видно, что наилучшие параметры для случайного процесса L_2 являются наихудшими для случайного процесса L_1 . Так, при увеличении числа доменных имен, а также уменьшения времени их жизни, сетевые устройства будут находиться в защищенном состоянии, однако частая реконфигурация этих параметров приведет к тому, что сетевые устройства большую часть времени будут находиться в состоянии ожидания окончания этой реконфигурации, т.е. будут недоступными для осуществления информационного обмена. Таким образом, задача поиска оптимальных наборов конфигурируемых параметров службы доменных имен, при которых сетевые устройства будут функционировать наиболее эффективно по критериям «доступности» и «защищенности».

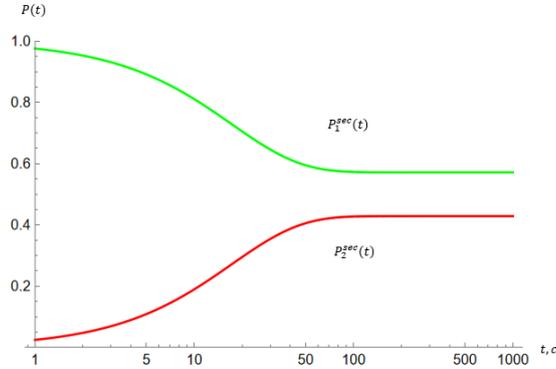


Рис. 4. Результат расчетов вероятности нахождения L_1 в состоянии j из состояния i к моменту времени t

Поскольку состояние S_4^{avail} случайного процесса L_1 возможно охарактеризовать как состояние, при котором сетевые устройства недоступны для информационного обмена, то финальная вероятность нахождения системы в подмножестве состояний за исключением данного состояния может рассматриваться как целевая функция, характеризующая критерий «доступности»:

$$F_1(x, y) = \overline{P_4^{avail}(x, y)} \quad (12)$$

Для случайного процесса L_2 необходимо, чтобы она находилась в состоянии S_1^{sec} , при котором сетевые устройства находятся в защищенном состоянии. Таким образом, критерием «защищенности» случайного процесса L_2 будет являться целевая функция:

$$F_2(x, y) = P_1^{sec}(x, y) \quad (13)$$

Задача поиска оптимальных наборов значений конфигурируемых параметров службы доменных имен, при которых сетевые устройства будут функционировать наиболее эффективно, будет сформулирована как задача многокритериальной (векторной) оптимизации и примет следующий вид:

$$\begin{cases} F_1(x, y) \rightarrow \max, \\ F_2(x, y) \rightarrow \max. \end{cases} \quad x, y \in Q \quad (14)$$

где: целевая функция F_1 характеризует «доступность» ИС; целевая функция F_2 характеризует «защищенность» ИС; y – количество предварительно заданных доменных имен, x – время их жизни. Указанные параметры являются общими для целевых функций F_1 и F_2 , а их значения принадлежат области допустимых значений Q .

$$Q = \begin{cases} 3 < n < 127, \\ 0.1 < T_{cr} < 38, 0.5 < T_{rec} < 3, \\ 1 < x < 86400, 0.01 < y < 36^5, \\ \lambda_{12}^{avail} \geq 0, \lambda_{21}^{avail} \geq 0, \lambda_{13}^{avail} \geq 0, \lambda_{31}^{avail} \geq 0, \\ \lambda_{23}^{avail} \geq 0, \lambda_{24}^{avail} \geq 0, \lambda_{34}^{avail} \geq 0, \lambda_{41}^{avail} \geq 0 \\ \lambda_{12}^{sec} \geq 0, \lambda_{21}^{sec} \geq 0, \\ 0 < F_1(x, y) < 1, \\ 0 < F_2(x, y) < 1, \end{cases} \quad (15)$$

Количество поддоменов (параметр n) зависит от уровня поддомена. Максимальное количество уровней поддомена – 127. Каждый из них может содержать 63 символа, пока общая длина доменного имени не достигнет 255 символов. Количество доменных имен для одного поддомена (параметр y) выбирается в зависимости от количества символов в доменном имени. Так, в доменном имени, состоящем из пяти символов, может содержаться 36^5 доменных имен. Среднее время ведения сетевой разведки (параметр T_{cr}) зависит от режима сканирования сети и имеет максимальное значение 38 секунд на 1 сетевое устройство (режим «Intense scan, all tcp ports» программы «Nmap»). Время реконфигурации одного сетевого устройства (параметр T_{rec}) с применением DNS и DHCP-сервера находится в интервале [0,5-3,0] сек. Данные параметры были получены экспериментальным путем. Максимальное время использования доменного имени (параметр x), в соответствии с RFC-1035, не изменяется в течение всего периода регистрации сетевого устройства.

Предложенная модель позволяет исследовать процесс функционирования сетевых устройств при конфигурировании параметров службы доменных имен информационных систем в условиях сетевой разведки. Модель формализована в виде полумарковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем, при этом выходные характеристики (интервально-переходные вероятности, функции распределения первого достижения соответствующего состояния) определяются через основные характеристики полумарковского процесса с экспоненциальным законом распределения.

Полученные вероятностно-временные характеристики применимы в качестве целевых функций, характеризующих критерии «защищенности» и «доступности» сетевых устройств, функционирующих в условиях сетевой разведки.

Оптимальное количество доменных имен, используемых в информационных системах, и оптимальное время жизни доменных имен будут рассмотрены при дальнейшем исследовании изучаемых случайных процессов.

Список литературы

1. Олифер В.В. Компьютерные Сети. Принципы, технологии, протоколы: / В. Олифер, Н. Олифер : учебник для вузов. 5-е изд. СПб.: Питер, 2016. 992 с.
2. Душкин А. В. Способ повышения эффективности распознавания несанкционированных воздействий на ИТКС. / А. В. Душкин, В.Н. Похвашев, С. П. Соколовский // Информация и безопасность. 2010. Т. 13. № 1. С. 97-102.
3. RFC 1035. Domain names implementation and specification (DNS). 1987. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc1035> (дата обращения: 15.10.2023).
4. Максимов Р.В., Соколовский С.П., Ворончихин И.С., Гритчин А.Д., Бодякин М.С., Игнатенко А.В. Способ защиты вычислительных сетей // Патент на изобретение RU2726900, опублик. 16.07.2020, Бюл. № 7, 33 с.
5. Масловский В.С. Особенности технологии защиты сетей с применением движущейся цели. В.С. Масловский, С.С. Доронин, И.А. Крутоумов – Текст: непосредственный // Вестник современных технологий. 2018. № 7.3 (22). С. 246-249.
6. RFC 768. User datagram protocol (UDP). 1980. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc768> (дата обращения: 15.10.2023).
7. Zhang H. Network moving target defense technique based on collaborative mutation/ H.Zhang, C. Lei, D. Chang // Computers and Security. 2017. Vol. 70.P. 51-57.
8. Тихонов А.Н., Марковские процессы. А.Н. Тихонов, М.А. Миронов Издательство: Советское радио. 1977. 488 с.
9. Москвин А.А. Модель, оптимизация и оценка эффективности применения многоадресных сетевых соединений в условиях сетевой разведки./ А.А. Москвин, Р.В. Максимов, А.А. Горбачёв // Вопросы кибербезопасности. 2023. № 3(55). С. 13-22. DOI:10.21681/2311-3456-2023-3-13-22
10. Горбачев А.А. Модель и параметрическая оптимизация проактивной защиты сервиса электронной почты от сетевой разведки // Вопросы кибербезопасности. 2022. № 3 (49). С. 69-81. DOI:10.21681/4311-3456-2022-3-69-81.
11. Соколовский С.П., Асимптотическая устойчивость модели динамического конфигурирования структуры вычислительных сетей С.П. Соколовский, И.С. Ворончихин // Безопасные информационные технологии. Международная научно-техническая конференция. 2021, с. 70-75.

Бодякин Максим Сергеевич, начальник курса, maksbody@mail.ru, Россия, Краснодар, Краснодарское высшее военное училище,

Соколовский Сергей Петрович, доктор техн. наук, доцент, начальник кафедры, mtd.krd@mail.ru, Россия, Краснодар, Краснодарское высшее военное училище

THE MODEL OF FUNCTIONING, SETTING THE TASK OF DETERMINING THE OPTIMAL VALUES OF THE DNS PARAMETERS

M.S. Bodyakin, S.P. Sokolovsky

The processes of functioning of the domain name service under network reconnaissance conditions have been investigated, and the possibilities of increasing the security of information systems by reducing the opportunities of network reconnaissance while maintaining a given level of resource costs have been determined. A model for configuring the parameters of the domain name service in information systems under network reconnaissance conditions has been developed, which is formalized as a semi-Markov stochastic process with discrete states and continuous time. The model allows obtaining probabilistic-temporal characteristics of the investigated processes necessary for determining optimal values of domain name service parameters such as the number of domain names and their lifespan.

Key words: domain name service parameters, information system, stochastic process, availability and security of information systems.

Bodyakin Maxim Sergeevich, the chief of the course, maksbody@mail.ru, Russia, Krasnodar, Krasnodar Higher Military School,

Sokolovsky Sergey Petrovich, doctor of technical sciences, docent, the head of the department, mtd.krd@mail.ru, Russia, Krasnodar, Krasnodar Higher Military School

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИКИ ДАННЫХ НА БАЗЕ VI-ПЛАТФОРМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Н.Г. Курбанов, Н. Курбанов, А.В. Горюнова, Е.В. Сокорева, А.А. Тихонов

В статье рассматривается применение обработки данных с использованием VI-платформ для проектов строительного сектора в России. Акцентируется внимание на управленческих решениях при визуализации готовых отчетов по рубежному контролю выполнения объекта. Делается вывод о том, что современные элементы планирования строительного производства наряду с платформами по сбору и структурированию данных способны участникам инвестиционно-строительных проектов прогнозировать возможные риски и принимать гибкие и оптимальные управленческие решения с минимальными потерями качества строительно-монтажных работ, продолжительностью и стоимостью возведения. Данная статья может быть полезна специалистам в управленческой деятельности строительных организаций.

Ключевые слова: Календарно-сетевое планирование, строительство, управление проектом, риск, аналитика, VI-платформа, график, данные, производительность, численность, эффективность.

Неотъемлемой частью строительного производства и сопутствующих ей технологических процессов в современных реалиях является анализ и мониторинг данных, включающих в себя отражение и визуализацию хода ведения работ, а также основных вех во времени в календарно-сетевых графиках. В качестве основополагающих целей, которые преследуют Заказчики при реализации девелоперских проектов, это, в первую очередь, достижение качественного, конечного продукта, отвечающего регламентам и требованиям нормативной документации. И вторым сопутствующим, немаловажным ориентиром является стремление к реализации инвестиционно-привлекательного объекта. Поддержание данного статуса и долговечности объекта зависят от детализации проектных решений и качества проведения строительно-монтажных работ. Руководители, Директоры проектов и специалисты разных уровней инвестиционно-строительного комплекса при реализации крупномасштабных и технически сложных объектов, должны осуществлять эффективное управление проектом в современных реалиях путем применения прогрессивных методов календарно- сетевого планирования на основе передовых программных обеспечений. Российские реалии таковы, что строительство, как наиболее материалоемкой области экономики страны, требует алгоритмичного, системного, но в тоже время гибкого управления технологическими процессами. Отражаясь на ходе реализации инвестиционного проекта, управленческие решения способны влиять на финансовые ресурсы объекта, качество строительно-монтажных работ и сроки их реализации. Именно систематическая актуализация данных графика, ведение отчетности отдельных параметров хода реализации проекта и визуализация обработанных данных способствуют управленческому звену команды проекта умело, гибко и оперативно реагировать на возникшие изменения для эффективности дальнейшей работы и минимизации неблагоприятных рисков, в чем и заключается сущность управление проектом.

С развитием экономики нашей страны и переходом с конца прошлого столетия на рельсы рыночных взаимоотношений, строительные организации все больше заинтересованы в эффективном управлении набором проектов, объединенных общими условиями. Все больше такие предприятия носят характер проектно-ориентированных, в которых ход реализации объекта детально интерпретирован в календарно-сетевом графике. Календарно-сетевой график – это динамическая модель процесса реализации проекта, отражающая последовательность выполнения комплекса работ и учитывающая ресурсную и стоимостную составляющие. Являясь частью организационно-технологической документации, он предназначен для описания предполагаемого способа строительства объекта и обеспечения того, чтобы объект был возведен в срок, установленный договором подряда, с использованием ресурсов, имеющихся в распоряжении. Он позволяет вести мониторинг и прогнозировать сроки завершения работ по проекту. Являясь инструментом для анализа актуальной информации по объекту строительства, график регулярно должен быть дополнен фактической информацией о выполненных работах. Подобной информацией, как правило, выступают основополагающие параметры строительно-монтажных, оказывающих прямое влияние на критический путь проекта: объемы выполненных работ, поставки оборудования и материалов и фактическая численность рабочей силы на объекте.

Календарно-сетевое планирование осуществимо различным спектром программных обеспечений, однако большим спросом среди строительного сектора пользуется пакет MS Project. Позволяя решать задачи по оптимизации графиков и распределению ресурсов, данный инструмент вбирает в себя массу информации, которая легко воспринимается специалистами строительного сектора, и которая порой сложна в восприятии лицам, не имеющих компетенций и необходимых аналитических навыков, к примеру Заказчику. И с задачей по сбору информации из разных источников, цифровизации и визуализации массивов данных о реализации объектов строительства, темпах возведения и выполненных объемах отлично справляются комплексы BI (Business Intelligence) систем. Они позволяют обнаружить проблемы в рассматриваемых проектах, давать прогнозы и интерпретировать тенденции строительной компании в целом. При проведении производственных совещаний принято на еженедельной основе докладывать участникам инвестиционного проекта актуализированные показатели объекта, поэтому сбор информации должен происходить систематически и непрерывно. Достичь подобной системности специалисту по сбору данных по недельному проценту выполнения работ осуществимо двумя методами:

1. Классический метод прямого запроса информации у субподрядчиков о проценте выполнения работ. Данный способ, отличающийся своей архаичностью и отсутствием автоматизации, предполагает прямое взаимодействие менеджеров проектов с представителями субподрядных организаций производителями работ и начальниками участков.

2. Метод внесения информации представителями субподрядных организаций через специализированное мобильное программное обеспечение, имеющее полную синхронизацию с графиком в MS Project и отчетностью в Информационной Системе Управления Проектами (ИСУП), основанной на базе платформы Power BI (рис.1). Данное решение предполагает вовлечение ИТ-специалистов, обеспечивающих поддержание работоспособности приложения, но отличается максимальной степенью автоматизации. Однако пользование сетевыми и информационными ресурсами данного ПО осуществимо только при условии прохождения сторонним сотрудником внутренней службы безопасности Генподрядной компании, а в условиях нестабильно производительности работы подрядчиков на объекте это приведет к повышенным трудозатратам ИТ-специалистов по добавлению/удалению из общей базы сотрудников сторонних организаций.

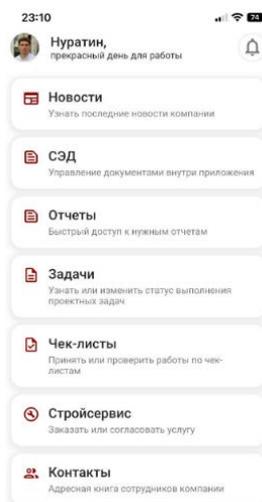


Рис. 1. Интерфейс мобильного приложения для внесения данных

Для недопущения подачи ложной информации по проценту выполнения со стороны субподрядной организации, синхронизация внесенных данных с ИСУП осуществляется только после подтверждения внесенных объемов сотрудниками команды проекта Генподрядной организации - Руководителем/Директором проекта, Начальником участка или Производителем работ.

Помимо данных по проценту выполнения наибольшую информативность имеет информация по физически выполненным работам в единицах измерения, подаваемая менеджеру проекта раз в неделю, а также ежедневный факт численности рабочих на объекте с разбиением на виды осуществляемых работ. Информация о плановой потребности в материалах и оборудовании ежемесячно передаваемая сотрудникам тендерного отдела позволяет заблаговременно получить лучшее коммерческое предложение от поставщиков.

Внесенные в информационную базу строительной компании данные, пройдя путь по систематизации, упорядочиванию и визуализации, предстают перед стейкхолдерами организации в лаконичном и легко воспринимаемом формате. На примере проекта по реконструкции здания, рассмотрим отчет, именуемый как «Ресурсный план» (рис. 2). В нем представлен анализ объемов строительного-монтажных работ и сроков их выполнения – фактических, по графику, прогнозных, исходя из выработки. Помимо этого, для работ представлены расчетные показатели SPI (индекс физического выполнения), а также S-кривые по выполнению СМР.

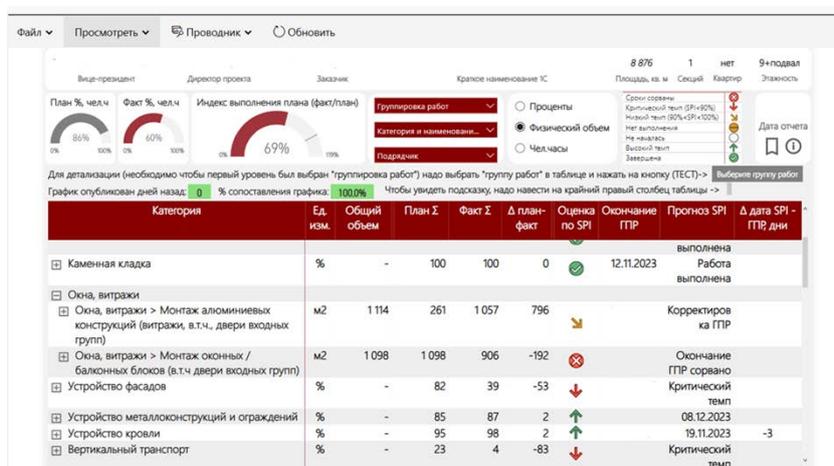


Рис. 2. Отчет «Ресурсный план» по реконструируемому объекту

Оперирование полученными результатами осуществляется с помощью легенды с графическими индикаторами (рис. 3)

Сроки сорваны	⊗
Критический темп (SPI<90%)	↓
Низкий темп (90%<SPI<100%)	↘
Нет выполнения	⦿
Не началась	○
Высокий темп	↑
Завершена	⊕

Рис. 3. Легенда с графическими индикаторами

Согласно отчету, мы можем отметить, что работы по устройству каменной кладки были завершены. Перейдя к алюминиевым, светопрозрачным конструкциям понимаем, что сопутствующий индикатор сигнализирует нам о том, что индекс физического выполнения SPI в диапазоне от 90 до 100 %, а прогноз SPI «Корректировка ГПР» означает, что подрядчик, внося объемы выполненных недельных работ через мобильное приложение, начал работы раньше, чем в графике производства работ. В виду того, что линейный персонал в лице ИТР со стороны Генподрядчика подтвердил объемы, то для нивелирования соотношения между фактическими сроками и сроками из графика необходима корректировка календарного плана менеджеру проекта.

В разделе «Монтаж оконных блоков» наблюдаем срыв сроков. Данный индикатор сигнализирует нам о том, что работы по факту внесения данных уже завершены, но график производства работ в MS Project не актуализирован. В данном случае корректировка также ложится на плечи менеджера проекта.

При рассмотрении работ по устройству вентилируемого фасада мы видим, что подрядчик, выполняющий данный комплекс работ, имеет низкий темп выполнения работ, о чем и свидетельствует показатель Прогноз SPI, как критический темп (рис. 4).

Категория	Ед. изм.	Общий объем	План Σ	Факт Σ	Остаток	Оценка по SPI	Окончание ГПР	Прогноз SPI	Δ дата SPI - ГПР, дни
Устройство фасадов НВФ > Устройство горизонтальных профилей	м2	4 740	4 295	1 800	2 940	↓		Критический темп	
Устройство фасадов НВФ > Устройство фасадного материала	м2	4 740	2 886	1 030	3 710	↓		Критический темп	

Рис. 4. Критический темп выполнения работ по устройству фасада

Из общего объема 4740 м² подрядчик выполнил 1800 м² профиля и 1030 м² облицовочного материала. Перейдя в детальный режим, оперируя срезом S-кривой зависимости индекса физического выполнения SPI от времени выявляем, что при существующей численности рабочей силы объем выполненных работ находится на низком уровне, о чем и свидетельствует разница между планом согласно графику 82,24%, к которому мы должны стремиться, фактом через поданный объем 39,03% и фактом через сбор численности 69,66 % (рис. 5). В данном случае мы можем сделать вывод, что низкая производительность труда приводит к повышению прямых затрат строительства, в состав которых и входит зарплата основных рабочих. Поэтому перед административно-управленческим звеном команды проекта могут стоять 2 пути решения: сокращение численности рабочей силы для минимизации прямых затрат проекта, а также введение штрафных санкций и прочих мер наказания, оказывающих стимулирование рабочих выполнять объем работ согласно необходимой дневной выработке каждого человека.

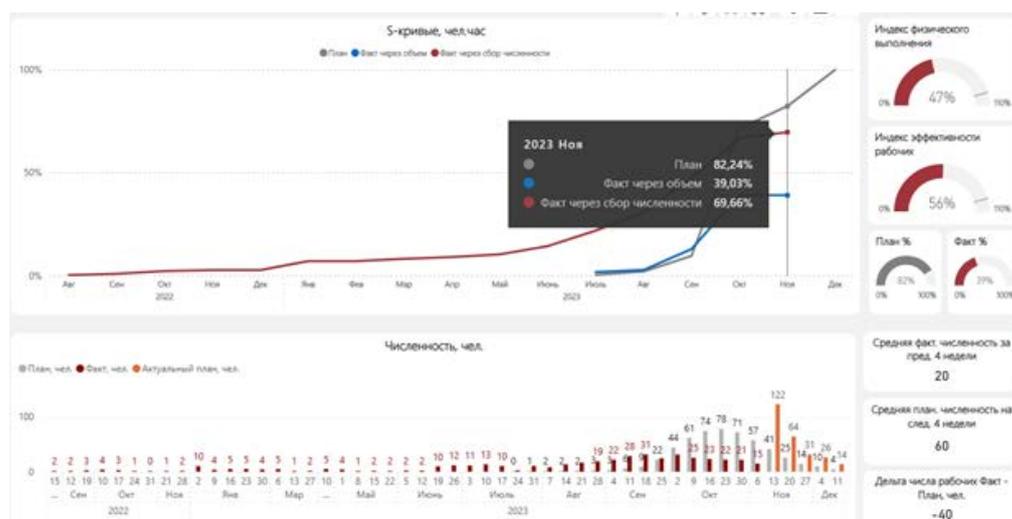


Рис. 5. S-кривая, демонстрирующая показатели эффективности работ по устройству фасада

Следующая работа, заслуживающая внимания, это устройство вертикального транспорта, которая имеет подобный прошлой работе критический темп. Но в отличие от предыдущего подрядчика, мы сталкиваемся с недобросовестностью подрядной организации, занимающейся монтажом лифтового оборудования, поскольку ее сотрудники не выходят на фронт работ, а потому и производительность труда находится на крайне низком уровне (рис. 6).

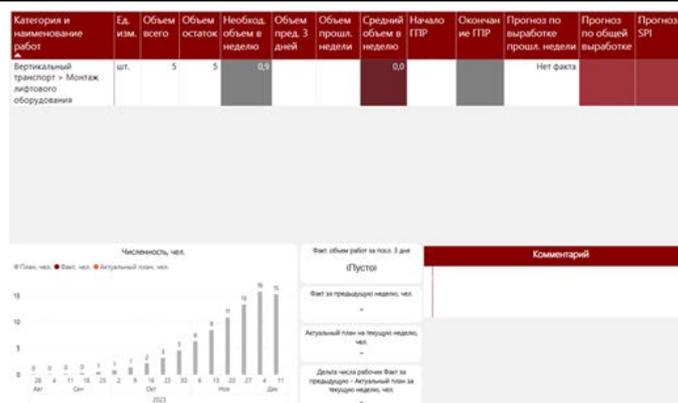


Рис. 6. Эффективность выполнения работ по монтажу лифтового оборудования

Фронт работ представляет из себя монтаж и пуско-наладочные работы 5 лифтовых кабин различной грузоподъемности. Подрядчик не вышел на фронт работ, о чем свидетельствует график численности. Из этого следует сделать вывод, что необходимо взаимодействовать с Генеральным директором данной субподрядной организации для оказания содействия в решении данного вопроса. В противном случае Генподрядной организации следует расторгнуть договор субподряда с возвратом аванса, выплаченному ему.

Учитывая, что строительная отрасль является наиболее материалоемкой, применение современных методов управления проектами способствует к снижению стоимости возведения на 20-30% и сокращению сроков ведения работ на 30-40% при условии сохранения качества. Полученные визуализированные данные по возводимому объекту позволяют руководящим звеньям Генподрядной организации, а также Заказчику видеть реальную, информационную картину строительной площадки. Данные аналитические отчеты помогают Генподряду иметь представление, кому из субподрядчиков, можем выплатить аванс, предусмотренный договором, на основании объема выполненных работ, кого мы должны ускорить в осуществлении строительно-монтажных работ, а с кем и вовсе расторгнуть договор. С помощью прогнозных возможностей календарно-сетевое планирование вкуче с VI-платформами помогают административно-управленческому персоналу выявлять возможные будущие риски и организовывать мероприятия по недопущению отставания от договорных (плановых) сроков строительно-монтажных работ.

Список литературы

1. Колчин В. Н. Применение автоматизированных систем эксплуатации зданий и инженерных систем // Инновации и инвестиции. 2020. № 2. , 2 с.
2. Ручкин А. В., Трофимова О.М. Управление проектами: Основные определения и подходы. Вопросы управления, 2017. 122 с.
3. Project Management Institute, Inc., Руководство к своду знаний по управлению проектами, (Руководство РМВОК). Четвертое издание. 6 с.
4. Лалидус А А. Организационно-технологическая платформа строительства // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 4. С. 516-524. ООЕ 10.22227/1997-0935.2022.4.516-524. 517, 518 с.
5. Лалидус А А. Системотехнические основы автоматизации проектирования организационных структур крупномасштабного строительства: диссертация доктора технических наук: 05.13.12. Москва, 1997.- 222 с.: ил. РГБ ОД, 71 99-5/126-9. 43 с.
6. Камаева Ю. В., Адамцевич Л. А. Перспективы использования предиктивной аналитики в строительстве. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-2-12-12.
7. Колчин В. Н. Использование технологии обработки больших данных в строительстве. Инновации и инвестиции, 2023. 287 с.
8. Ильин А. В., Владимиров Н. В. Использование искусственного интеллекта в строительстве. Вестник магистратуры. ISSN 2223-4047.
9. Nader Naderpajouh, Juyeong Choi, Makarand Hastak State of the Art of Construction Analytics // Construction Research Congress . 2016. №970.
10. Mohsen Shahandashti, Ehsan Zahed, Bahram Abediniangerabi, Sooin Kim Introduction to Construction Analytics // Construction Analytics. - 2023.
11. Lapidus A., Topchiy D., Kuzmina T., Chapidze O. Influence of the construction risks on the cost and duration of a project // Buildings. 2022. Т. 12. № 4.
12. Кузьмина Т.К. Особенности взаимодействия службы заказчика с участниками инвестиционно-строительной деятельности. Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). С. 34-35.

Курбанов Нуратин Гаджимурадович, магистр, ngkurbanov.7@gmail.com, Россия, Москва, Московский государственный строительный университет,

Нуратин Курбанов, магистр, Россия, Москва, Московский государственный строительный университет,

Горюнова Анна Владимировна, старший преподаватель, Россия, Москва, Московский государственный строительный университет,

Сокорева Евгения Викторовна, старший преподаватель, Россия, Москва, Московский государственный строительный университет,

Тихонов Алексей Александрович, бакалавр, Россия, Москва, Московский государственный строительный университет.

APPLICATION OF DATA ANALYTICS BASED ON BI-PLATFORMS IN CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT

N.G. Kurbanov, N. Kurbanov, A.V. Goryunova, E.V. Sokoreva, A.A. Tikhonov

The article discusses the application of data processing using BI platforms for projects in the construction sector in Russia. Attention is focused on management decisions when visualizing ready-made reports on milestone control of the implementation of an object. It is concluded that modern elements of construction production planning, along with platforms for collecting and structuring data, are capable of participants in investment and construction projects to predict possible risks and make flexible and optimal management decisions with minimal losses in the quality of construction and installation work, the duration and cost of construction. This article may be useful to specialists in the management activities of construction organizations.

Key words: Schedule and network planning, construction, project management, risk, analytics, BI platform, schedule, data, productivity, headcount, efficiency.

Kurbanov Nuratin Gadzhimuradovich, master, ngkurbanov.7@gmail.com, Russia, Moscow, Moscow State University of Civil Engineering,

Nuratin Kurbanov, master, Russia, Moscow, Moscow State University of Civil Engineering,

Goryunova Anna Vladimirovna, senior lecturer, Russia, Moscow, Moscow State University of Civil Engineering,

Sokoreva Evgenia Viktorovna, senior lecturer, Russia, Moscow, Moscow State University of Civil Engineering,

Tikhonov Alexey Alexandrovich, bachelor, Russia, Moscow, Moscow State University of Civil Engineering.

УДК 004.89

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-191-192

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ИЗУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

А.Г. Никольский, О.В. Виштак, Г.В. Очкур, Н.М. Виштак

В настоящее время наблюдается резкое увеличение использования искусственного интеллекта в разных аспектах жизни человека. В статье рассмотрены сферы применения искусственного интеллекта, такие как промышленная, транспорт, здравоохранение, финансовая, образование. Приводится краткий анализ основных направлений применения искусственного интеллекта в образовании: персонализированное обучение, интеллектуальные системы обучения, автоматизация контроля результатов процесса обучения, предиктивная аналитика, применение виртуальных помощников. В качестве примера использования искусственного интеллекта представлены особенности использования виртуального ассистента ChatGPT от компании OpenAI при освоении языка программирования Kotlin, предназначенного для создания мобильных, серверных и веб-приложений, а также для разработки встраиваемых систем. Приводятся, как пример, построение плана обучения, включая последовательность тем для изучения, а также показаны возможности ускорения процесса поиска материала по темам, предоставление ссылок на ресурсы. Приведен пример диалогового общения с виртуальным помощником. Обоснованы преимущества использования виртуальных помощников в организации самостоятельной учебной деятельности. Показано, что наиболее эффективной является смешанная форма обучения, сочетающая такие традиционные формы обучения, как лекции, практические занятия, лабораторные работы, с использованием систем ИИ, что позволит максимально повысить результативность обучения каждого обучаемого в соответствии с его образовательными потребностями.

Ключевые слова: искусственный интеллект, процесс обучения, индивидуализация обучения, виртуальный ассистент, изучение языков программирования.

Искусственный интеллект (ИИ) — это быстро развивающаяся технология, которая может значительно изменить многие аспекты нашей деятельности во всех сферах. По своей сути ИИ представляет собой совокупность алгоритмов и методов машинного обучения для имитации человеческого интеллекта и автоматизации задач, которые в противном случае потребовали бы вмешательства человека. Алгоритмы ИИ могут анализировать огромные объемы данных, выявлять закономерности и формировать прогнозы на основе этих данных без явного программирования. В последние годы достижения в области машинного обучения и алгоритмов глубокого обучения позволили системам ИИ выполнять задачи, которые когда-то считались исключительной областью человеческого интеллекта.

В настоящее время наблюдается резкое увеличение использования искусственного интеллекта в различных аспектах жизни человека [1,2]. Сегодня ИИ используется в самых разных приложениях: от беспилотных автомобилей до систем распознавания лиц. Наиболее перспективными сферами применения данной технологии являются следующие [3,4,5,6,7]:

- промышленность. ИИ используется для оптимизации производственных процессов путем мониторинга оборудования, прогнозирования потребностей в техническом обслуживании и даже выявления потенциальных проблем с качеством до их возникновения;

- транспорт. Беспилотные автомобили и другие автономные транспортные средства становятся все более распространенными благодаря достижениям в области искусственного интеллекта. Эти автомобили способны перемещаться по дорогам, избегать препятствий и даже принимать решения на основе данных в реальном времени;

- здравоохранение. ИИ используется для улучшения результатов в области здравоохранения путем анализа больших объемов медицинских данных для выявления закономерностей и прогнозирования результатов. Системы искусственного интеллекта могут помочь врачам принимать более обоснованные решения, разрабатывать персонализированные планы лечения и даже помогать в хирургических процедурах;

- финансовая сфера. ИИ используется для улучшения обнаружения мошенничества, анализа рыночных тенденций и даже для помощи в принятии инвестиционных решений;

- образование. ИИ используется в образовании для индивидуализации учебного процесса, адаптации обучения к индивидуальным потребностям обучающегося и для оценки знаний и умений обучающегося.

В настоящее время можно выделить шесть основных направлений применения ИИ в образовании [2,7,8,9,10]:

- персонализированное обучение. ИИ может анализировать огромное количество данных об учебных способностях, предпочтениях и успеваемости отдельных обучающихся. На основе этих данных алгоритмы ИИ могут создавать индивидуальные пути обучения для каждого обучающегося, предоставляя им индивидуальные рекомендации и обратную связь. ИИ также может адаптировать уровень сложности заданий и тестов в соответствии с их уровнем знаний и умений, в соответствии с потребностями каждого обучающегося, тем самым повышая удовлетворенность каждого обучающегося;

- интеллектуальные системы обучения. Интеллектуальные системы обучения на основе ИИ могут оказывать индивидуальную поддержку обучающимся. Эти системы могут определить области знаний, в которых обучающиеся испытывают затруднения, соответственно обеспечить их целенаправленное руководство и поддержку со стороны преподавателя. Интеллектуальные системы обучения также могут предоставить обучающимся немедленную обратную связь о результативности учебной деятельности, помогая им своевременно корректировать свою индивидуальную траекторию;

- автоматизация контроля результатов процесса обучения. ИИ может автоматизировать процесс оценивания выполненных заданий и контрольных тестов, уменьшая тем самым нагрузку на преподавателей и высвобождая их время для индивидуальной работы с каждым обучающимся. Автоматическое оценивание также обеспечивает более объективную и последовательную оценку для всех обучающихся, устраняя возможные предубеждения;

- предиктивная аналитика. Алгоритмы ИИ могут анализировать данные об успеваемости обучающихся и прогнозировать будущие результаты. Это может помочь преподавателям выявить на начальном этапе обучающихся, которые недостаточно подготовлены к изучению данного курса, и оказать соответствующую методическую помощь, тем самым сгладить их возможные неудачи в учебном процессе. Прогнозная аналитика также может помочь руководству образовательного учреждения определить области образовательного процесса, для которых им необходимо выделить ресурсы на совершенствование учебного процесса;

- виртуальные помощники. Виртуальные помощники на базе искусственного интеллекта могут оказывать обучающимся систематическую поддержку, отвечая на вопросы и предоставляя рекомендации по заданиям и проектам. Виртуальные помощники также могут предоставлять персональные рекомендации, основанные на истории обучения и предпочтениях обучающихся, помогая им оставаться вовлеченными и мотивированными;

- адаптивное обучение. ИИ может создавать адаптивную учебную среду, которая регулирует уровень сложности и темп обучения в зависимости от потребностей отдельных обучающихся. Это гарантирует, что обучающиеся, сталкиваясь с трудностями, не перегружаются, и проходят более увлекательное и эффективное обучение.

Большой интерес вызывает применение ИИ в процессах обучения. Рассмотрим, как ИИ может оптимизировать и ускорить процесс обучения. Предположим, что перед нами стоит задача изучить язык программирования, например, Kotlin, который является универсальным языком высокого уровня, используется для создания мобильных, серверных и веб-приложений, а также для разработки встраиваемых систем. Причем, примем, что опыта в программировании ранее у нас не было, соответственно не знаем какие темы и в каком порядке следует изучать.

Обратимся к виртуальному ассистенту от ChatGPT, разработанному компанией OpenAI. Прописываем, что хотим изучить Kotlin и задаем задачу на построение плана обучения, включая последовательность тем для изучения. Для ускорения процесса поиска материала по темам, предложенным ИИ, задаем запрос на предоставление ссылок на ресурсы (рис. 1). Как видно на рисунке 1, ИИ составил план обучения по основным темам языка программирования Kotlin, добавив разделы для углубленного изучения, а также информацию по основным фреймворкам, используемым в промышленной разработке. Для каждой темы ИИ предоставил по нашему запросу ссылки на документацию, статьи или курсы, по которым можно изучать данные темы.

Сформированный план обучения позволяет переходить к его выполнению. Рассматривая каждую тему, можно задать запрос ИИ для ее подробного описания и формирования несколько примеров на данную тему (рис. 2, 3).

Поскольку ChatGPT сохраняет контекст диалога, то писать каждый раз о цели изучить Kotlin нет необходимости. В самом же вопросе к ИИ можно ссылаться на пункты из его ответов на предыдущие вопросы.

Как видно из рисунков 2 и 3, ИИ предоставил объяснение темы «Классы и объекты» из четвертого пункта плана обучения. В ответе содержится описание базовых конструкций языка для классов и объектов. Каждая языковая конструкция снабжена примером, позволяющим наглядно понять механизм ее использования. При желании, например, в случае непонимания какого-либо пункта ответа от ИИ, можно также углубиться в более детальное изучение данного пункта, задав запрос ИИ более подробно объяснить то, что вызвало непонимание и привести больше

примеров. Существует также возможность задать запрос ИИ на объяснение какую-либо темы более понятным образом.



Рис. 1. Пример запроса для построения плана обучения

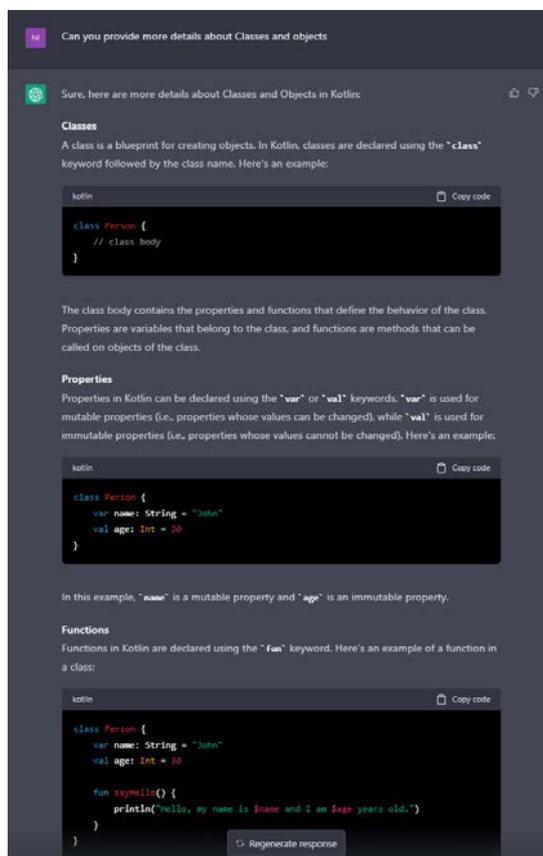


Рис. 2. Пример запроса на уточнение темы по классам и объектам

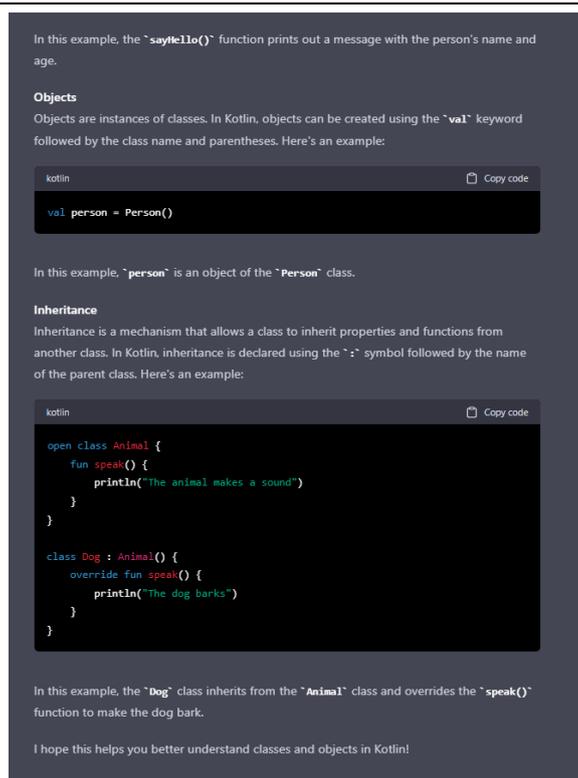


Рис. 3. Пример запроса на уточнение темы по классам и объектам

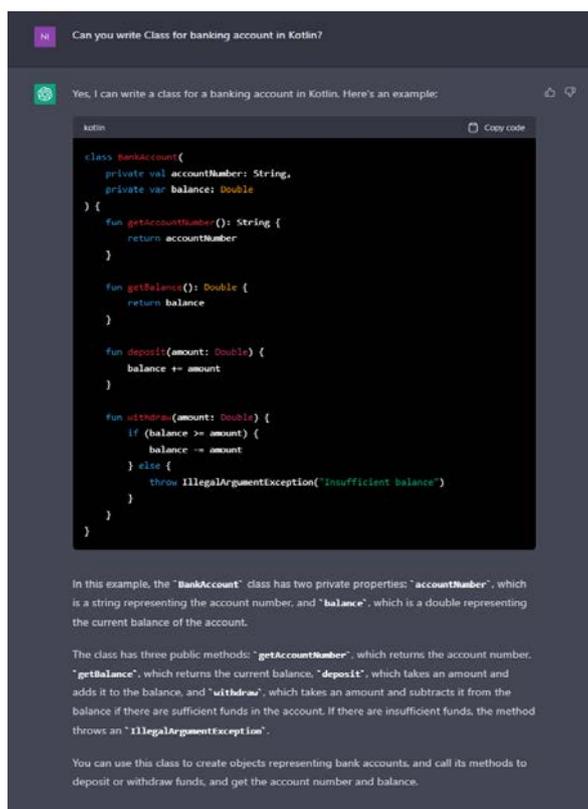


Рис. 4. Пример запроса для написания класса

Хотя возможности ИИ впечатляют, контроль человека на некоторых этапах обучения заменить пока не получается. Рассмотрим пример. Сформируем запрос ИИ написание класса `balance` на языке Kotlin для описания банковского аккаунта и проанализируем ответ. Как видно из рис. 4, в ответе есть недочеты. Хранение денежных остатков в поле с типом `Double` имеет очевидные недостатки.

Прописываем данное замечание ИИ. Ответ показывает, что ИИ согласился с данным предложением и изменил тип поля для хранения остатка на `BigDecimal` (рис. 5).



Рис. 5. Пример указания ошибки формирования класса

Учитывая вышенаписанное, можно отметить, что полагаться полностью в процессе обучения на ИИ не стоит, так как на данном этапе обучения нейросети он может предоставлять неточные данные, либо данные, которые не рекомендуется использовать, исходя из опыта специалистов.

Эффективным будет подход с комбинированием традиционных методов обучения, таких как самостоятельное изучение соответствующей литературы или занятия с использованием ИИ в качестве виртуального ассистента. Преимущество такого ассистента состоит в том, что он может объяснять материал 24/7, в то время как занятия в вузах идут обычно по расписанию. Соответственно каждый обучающийся имеет возможность построения своей индивидуальной траектории обучения с использованием виртуального ассистента, как во временном аспекте, так и в выборе учебного материала, который, по его мнению, необходимо изучить более углубленно.

При работе с ИИ может возникнуть вопрос о преимуществе ИИ по сравнению с поиском в Google. На первый взгляд кажется, что необходимую информацию можно найти в сети Интернет с помощью поисковой системы. Google является мощной поисковой системой, использование которой позволяет быстро находить требуемую информацию. Это обусловлено тем, что система Google имеет широкое покрытие веб-сайтов и может предоставлять пользователю релевантные запросы.

Однако, ИИ (в данном случае в виде ChatGPT) представляет собой языковую модель, соответственно может поддерживать диалог с пользователем. Если, например, после прочтения статьи у пользователя появились вопросы, то ChatGPT может ответить в форме диалога. При этом можно указать степень научности объяснения, и ИИ объяснит выбранную тему различными способами.

Еще одним преимуществом использования ChatGPT перед поиском в Google является экономия времени. Можно провести много времени над поиском уточнения отдельных аспектов статьи, когда сама статья опубликована на одном веб-сайте, а необходимая детализация аспекта находится на другом веб-сайте. То есть ChatGPT сформирует ответ намного быстрее и в требуемом виде.

Однако следует отметить и имеющиеся недостатки в применении ИИ (в частности ChatGPT) в процессе обучения. Поскольку ChatGPT не имеет доступа в сеть Интернет, а ее обучение происходило до сентября 2021 года, то получить актуальные данные можно не по всем вопросам. Это следует учитывать при построении запроса к ИИ, хотя, как правило, в ответе он упоминает этот факт. Для получения наиболее актуальных данных, конечно же следует использовать и поисковые системы в сети Интернет.

Таким образом, наиболее оптимальным является смешанное обучение, сочетающее традиционные методы обучения и использование возможностей искусственного интеллекта в качестве виртуального ассистента, что экономит временной ресурс у всех участников учебного процесса; предоставляет преподавателю создавать современные цифровые учебно-методические ресурсы, а обучающемуся их использовать в своей самостоятельной учебной деятельности; использовать в преподавательской деятельности различные методы технологии в зависимости от степени подготовки обучающихся, а обучающимся самостоятельно формировать свою индивидуальную траекторию обучения.

Список литературы

1. Рябенков Р.А., Михеев И.В. Искусственный интеллект и его потенциал. // Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий. Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. Балаково. 2020. С. 229-233.
2. Ларских Е.Л., Кукушкина В.А. Искусственный интеллект: область применения и технологии. // В сборнике: технология. дизайн. образование. / Сборник материалов всероссийской (очно-заочной) научно-практической конференции с международным участием. Магнитогорск, 2022. С. 391-395.
3. Кулакова Л.И. Управление инновациями в предпринимательстве на основе функциональных возможностей искусственного интеллекта // Естественно-гуманитарные исследования. 2022. № 40 (2). С. 151-156.
4. Филиппова А.Д. Технологии искусственного интеллекта в торговле // В сборнике: Цифровизация общества: состояние, проблемы, перспективы. 2022. С. 234-241.
5. Медведева А.А. Применение искусственного интеллекта в банковском деле // В сборнике: Новые информационные технологии в научных исследованиях. / Материалы XXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов: в 2 томах. 2018. С. 226-228.
6. Арсакаев И.Ш., Ильясова К.Х., Орцуева Б.И. Технологии искусственного интеллекта в современном государственном управлении // Вопросы устойчивого развития общества. 2021. № 12. С. 790-796.
7. Рябов Г.А., Кривоногова Е.В. Тенденции развития искусственного интеллекта в высшем образовании в России и на западе // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 87-5. С. 156-158.
8. Хайритдинов Д.У., Сайдалиева Ф.Х. Понятие об искусственном интеллекте и адаптивное обучение, как один из возможностей использования искусственного интеллекта в образовании // В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации / Сборник статей XLIX Международной научно-практической конференции. Пенза, 2021. С. 10-12.
9. Вангаева Ф.М., Тайсумова Х.В. Проблемы обучаемости искусственного интеллекта и обучаемости искусственным интеллектом. // В сборнике: В поисках социальной истины. / Материалы II Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией О.А. Полюшкевич, Г.В. Дружинина. 2020. С. 308-311.
10. Харабаджах М.Н. Преимущества и риски использования искусственного интеллекта в высшем образовании // Проблемы современного педагогического образования. 2022. № 77-1. С. 295-298.

Никольский Александр Геннадьевич, разработчик Дивизиона технологического развития инвестиционно-го развития, alexandr.nikolskii@gmail.com, Россия, Москва, ООО ГК Иннотех,

Виштак Ольга Васильевна, д-р пед. наук, профессор, OVVishtak@mephi.ru, Россия, Балаково, Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) НИЯУ МИФИ,

Очкур Галина Викторовна, канд. техн. наук, заведующий кафедрой, GVOchkur@mephi.ru, Россия, Балаково, Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) НИЯУ МИФИ,

Виштак Наталья Михайловна, канд. пед. наук, доцент, NMVishtak@mephi.ru, Россия, Балаково, Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) НИЯУ МИФИ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN TRAINING

A.G. Nikolsky, O.V. Vishtak, G.V. Ochkur, N.M. Vishtak

Currently, there is a sharp increase in the use of artificial intelligence in various aspects of human life. The article considers the fields of application of artificial intelligence, such as industrial, transport, healthcare, financial, education. A brief analysis of the main areas of application of artificial intelligence in education is given: personalized learning, intelligent learning systems, automation of monitoring the results of the learning process, predictive analytics, the use of virtual assistants. As an example of the use of artificial intelligence, the features of using the ChatGPT virtual assistant from OpenAI when mastering the Kotlin programming language, designed for creating mobile, server and web applications, as well as for developing embedded systems, are presented. As an example, the construction of a training plan, including a sequence of topics for study, is given, as well as the possibilities of speeding up the process of searching for material on topics, providing links to resources are shown. An example of dialog communication with a virtual assistant is given. The advantages of using virtual assistants in the organization of independent educational activities are substantiated. It is shown that the most effective is a mixed form of education, combining such traditional forms of education as lectures, practical classes, laboratory work, using AI systems, which will maximize the effectiveness of each student's training in accordance with his educational needs.

Key words: artificial intelligence, learning process, individualization of learning, virtual assistant, learning programming languages.

Nikolsky Alexander Gennadievich, developer of the division of Technological development of investment development, alexandr.nikolskii@gmail.com, Russia, Moscow, Intech Group LLC,

Vishtak Olga Vasilevna, doctor of pedagogical sciences, professor, OVVishtak@mephi.ru, Russia, Balakovo, Balakovo Engineering and Technology Institute (branch) of National Research Nuclear University MEPHI,

Ochkur Galina Viktorovna, candidate of technical sciences, head of the department, GVOchkur@mephi.ru, Russia, Balakovo, Balakovo Engineering and Technology Institute (branch) of National Research Nuclear University MEPHI,

УДК 629.78

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-197-198

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА «ГИБЕЛИ И РАЗМНОЖЕНИЯ»

М.И. Калинина, Ю.В. Соловьев, П.Р. Медведев, А.А. Осыко

Вычислительные системы (комплексы), являясь сложными информационными системами [1], не всегда возможно достаточно полно и глубоко проанализировать с точки зрения их надежностных возможностей в интересах потребителя. Стандартные показатели надежности [2, 3] не в полной мере могут восполнить потребность проведения подобного рода анализа. Поэтому прогнозирование технического состояния вычислительного комплекса на основе использования модели процесса «гибели и размножения» является одним из возможных подходов к решению данной проблемы.

Ключевые слова: прогнозирование, техническое состояние, время наработки на отказ, время восстановления, процессы «гибели и размножения», параметры надежности, интенсивность потока, предельная вероятность состояния, вычислительный комплекс, статистические данные.

Под прогнозированием следует понимать предсказание диапазона значений рассматриваемой величины на соответствующем временном интервале в интересах пользователя. Для категории «техническое состояние» изделия диапазон значений может рассматриваться как:

- исправно-неисправно;
- работоспособно-неработоспособно.

Указанный диапазон значений раскрывает лишь качественную сторону при оценке технического состояния изделия.

В работе предлагается ввести элемент прогнозирования технического состояния изделия на основе использования модели процесса «гибели и размножения» как дополнение к уже имеющимся стандартным характеристикам надежности для более глубокого анализа перспективы развития динамики изменения его технического состояния уже именно с количественной стороны.

В зависимости от того, интересуемся мы полным соответствием изделия всем требованиям, предъявляемым к нему нормативно-технической документацией (НТД) или только его способностью выполнять заданные функции, состояния изделия разделяют на исправное и неисправное либо на работоспособное и неработоспособное.

Отношения между значениями диапазонов категории «техническое состояние» изделия можно представить исходя из следующих соображений. Прежде всего изделие может быть либо исправно, либо неисправно. В свою очередь, если оно неисправно, оно может быть либо работоспособно, либо неработоспособно.

Под исправным состоянием следует понимать состояние, при котором ЭВМ соответствует всем требованиям, установленным НТД. Если же ЭВМ не соответствует хотя бы одному из требований НТД, то она находится в неисправном состоянии [3].

Состояние, при котором ЭВМ способна выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных НТД, называют работоспособным (работоспособностью). Если значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность ЭВМ выполнять заданные функции, не соответствует установленным НТД требованиям, то ЭВМ находится в неисправном состоянии [3].

Использование стандартных характеристик надежности таких как:

- время наработки на отказ;
- время восстановления;
- коэффициент готовности и т.д.

Недостаточно для полного понимания перспективы динамики изменения технического состояния изделия на интересующем исследователя интервале времени.

Понятия процесса «гибели и размножения» впервые были применены при исследовании динамики изменения численности популяции изучаемого вида живых организмов.

Процесс развития динамики изменения состояния системы в сторону «гибели» предполагает уменьшение численности популяции.

Наоборот, процесс развития динамики изменения состояния системы в сторону «размножения» предполагает увеличение численности популяции.

Теория процесса «гибели и размножения» предполагает:

- построение модели состояния системы на основе задания количества состояний системы;
- задание диапазона изменений состояний системы;
- задание значений интенсивностей переходов системы из одного состояния в другое и обратно.

По отношению к техническим системам:

– под аналогом понятия «гибель» будем понимать понятие «отказ» (нарушение работоспособности, приводящее к возникновению неисправности);
 – под аналогом понятия «размножение» будем понимать понятие «восстановление» (восстановление нарушенной работоспособности).

Совокупность состояний системы удобно представлять в виде графа переходов системы из состояния в состояние. Количество состояний рассматриваемой системы должно быть на одно больше, чем количество элементов, задаваемых в ней. Рассматривается диапазон состояний от полностью исправного состояния (исправны все элементы) до полностью неисправного (неисправны все элементы).

Если система будет содержать n элементов, то состояния системы можно обозначить как

S_1 – все элементы системы исправны;

S_2 – неисправен 1 элемент;

S_{n-1} – неисправен $n-2$ элементов;

S_n – неисправен $n-1$ элемент;

S_{n+1} – все n элементов системы неисправны.

Как уже было показано выше, переход из состояния в состояние может осуществляться с соответствующей интенсивностью переходов:

– либо с интенсивностью возникновения отказов;

– либо с интенсивностью восстановления исправного состояния элемента системы.

Если количество неисправного оборудования в системе увеличивается, то это соответствует процессу гибели (возникновению отказа).

Если количество неисправного оборудования в системе уменьшается, то это соответствует процессу размножения (восстановлению элемента системы после устранения отказа).

С учетом вышеуказанных замечаний обобщенный граф изменения состояний системы можно представить рис. 1.

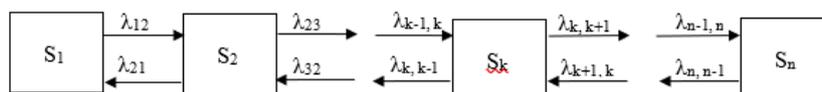


Рис. 1. Обобщенный граф изменения состояний системы

где $S_1 - S_n$ – возможные состояния системы; $\lambda_{12} \lambda_{n-1}$ – интенсивности отказов; $\lambda_{n-1} \lambda_{12}$ – интенсивности восстановления.

Примем, что в системе поток отказов простейший. Это означает, что промежутки времени между отказами распределены по показательному закону с параметром $\lambda_n = 1/t_n$ где t_n – среднее время безотказной работы (средняя наработка на отказ).

Аналогичный подход применяется и к параметру восстановления: $\lambda_e = 1/t_e$, где t_e – среднее время восстановления системы после отказа.

В состоянии S_1 исправны все n элементов системы. При этом каждый из элементов системы подвергается интенсивности отказов λ_n . Следовательно, на всю систему действует поток отказов с интенсивностью в n раз большей, т.е. $n\lambda_n$. При переходе системы в состояние S_2 интенсивности потока отказов системы уменьшиться до $(n-1)\lambda_n$. И т.д.

При переходе системы в состояние S_{n+1} , т.е. когда все элементы станут неисправными, поток интенсивности отказов, действующий на систему в целом, достигнет значения λ_n .

Индикаторами, на которые будем опираться при прогнозировании состояния системы в интересующий нас момент времени, следует выбрать совокупность вероятностей пребывания системы в том или ином состоянии ($S_1 - S_n$). Обозначим таковые вероятности через $p_1 - p_n$. В работе [4] предложены формулы для вычисления вероятностей пребывания системы в состояниях $S_1 - S_n$.

$$P_1 = 1 / \left(1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{21}} + \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}}{\lambda_{32}\lambda_{21}} + \dots + \frac{\lambda_{k-1}\cdot k \cdot \lambda_{k-2} \cdot \dots \cdot \lambda_{12}}{\lambda_k \cdot (k-1) \cdot \lambda_{k-1} \cdot \dots \cdot \lambda_{21}} + \dots + \frac{\lambda_{n-1}\cdot n \cdot \dots \cdot \lambda_{12}}{\lambda_n \cdot (n-1) \cdot \dots \cdot \lambda_{21}} \right) \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{21}} \cdot P_1 \quad (2)$$

$$P_3 = \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}}{\lambda_{32}\lambda_{21}} \cdot P_1 \quad (3)$$

$$P_k = \frac{\lambda_{k-1}\cdot k \cdot \dots \cdot \lambda_{12}}{\lambda_k \cdot (k-1) \cdot \dots \cdot \lambda_{21}} \cdot P_1 \quad (4)$$

$$P_n = \frac{\lambda_{n-1}\cdot n \cdot \dots \cdot \lambda_{12}}{\lambda_n \cdot (n-1) \cdot \dots \cdot \lambda_{21}} \cdot P_1 \quad (5)$$

Такие вероятности названы предельными вероятностями состояний. То есть выполнив расчеты в соответствии с формулами (1-5), можно предсказать нахождение системы в определенном состоянии с рассчитанной вероятностью на интересующий нас момент (период) времени.

Особый интерес представляет процесс прогнозирования технического состояния вычислительного комплекса (ВК), осуществляемый в интересах потребителя. ВК представляет собой совокупность групп однотипных устройств. Под группой таких устройств, следует понимать вполне определенное количество устройств, выполняющих одинаковые функции. Примером таких групп могут быть группы центральных процессоров, группы магнитных барабанов и т.д.

Внутри группы устройства однородны. Но разнородные группы между собой разнородны. Устройства из разных групп функционально взаимодействуют между собой. Пример структурной схемы ВК представлен на рис. 2.

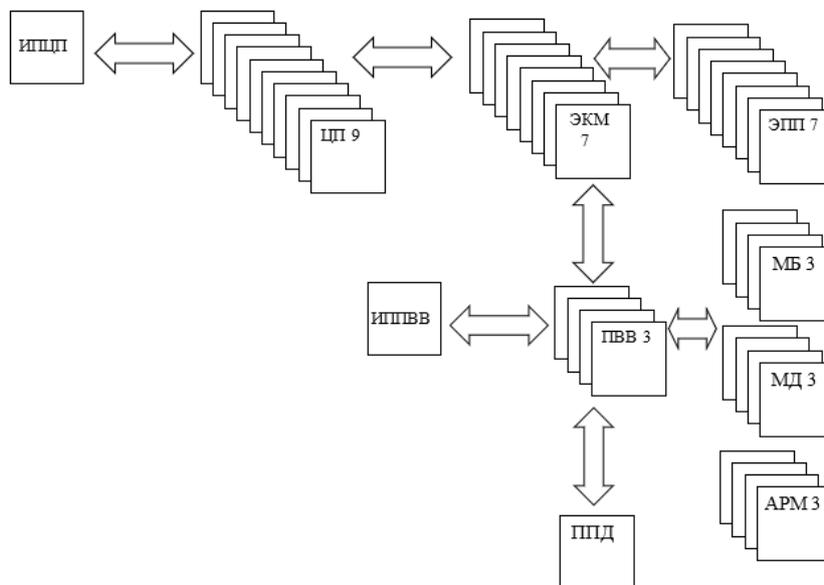


Рис. 2. Пример структурной схемы ВК

В состав ВК могут входить следующие группы устройств:

- центральные процессоры (ЦП);
- процессоры ввода-вывода (ПВВ);
- электронные коммутаторы (ЭКМ);
- секции оперативной электронной полупроводниковой памяти (ЭПП);
- инженерные пульта ЦП, ПВВ (ИПЦП, ИППВВ);
- магнитные барабаны (МБ);
- магнитные диски (МД);
- автоматизированные рабочие места (АРМ) и т.д.

Аппаратура ВК, как и любого сложного физически реализованного изделия, в процессе эксплуатации подвержена влиянию возникающих неисправностей. Как уже было показано выше расчет характеристик надежности можно проводить, опираясь на стандартные показатели надежности, что зачастую не в полной мере позволяет прогнозировать техническое состояние, как отдельных устройств, групп устройств так и комплекса в целом.

Значительно продвинуться в решении этой проблемы поможет математический аппарат прогнозирования представленный выше и основанный на модели процесса «гибели и размножения».

Особенностями, которые должны быть учтены применительно к вычислительному комплексу следует считать следующие:

- поскольку каждое устройство в группе имеет свои значения времени наработки на отказ и времени восстановления, то для устройств в составе конкретной группы, вычисляются средние значения этих двух указанных величин;
- на основе полученных величин этих двух средних значений рассчитываются предельные вероятности состояний (ПВС) для устройств каждой группы;
- в случае необходимости для ВК в целом рассчитывается обобщенный показатель ПВС как среднее значение от всех ранее рассчитанных ПВС для конкретных групп.

Таким образом, в статье предложен один из возможных подходов к прогнозированию технического состояния изделия, в частности вычислительного комплекса.

Указанный подход предполагает:

- выделение в структуре вычислительного комплекса групп однотипных устройств;
- сбор статистических данных для каждого устройства, позволяющих вычислить его время наработки на отказ и время восстановления за интересующий период времени;
- вычисление средних значений, указанных выше времен исходя из количества устройств в соответствующей группе (в итоге количество средних времен двух типов будет соответствовать числу групп);

- перевод рассчитанных средних значений, указанных выше времен в соответствующие значения интенсивностей отказов и восстановлений;
- вычисление значений предельных вероятностей состояний для каждого однотипного устройства;
- вычисление обобщенного показателя предельных вероятностей состояний как среднего значения от всех ранее рассчитанных ПВС для конкретных групп.

Список литературы

1. Шелухин О.И. Моделирование информационных систем. Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Горячая линия – Телеком, 2011– 536 с.
2. Орлов И.А., Корнюшко В.Ф., Бурляев В.В. Эксплуатация и ремонт ЭВМ, организация работ вычислительного центра: Учебник для техникумов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 400 с.
3. Журавлев Ю.П., Котельюк Л.А., Циклинский Н.И. Надежность и контроль ЭВМ. М., Изд-во «Советское радио», 1978. 416 с.
4. Абчук В.А. и др. Справочник по исследованию операций / Под общ. ред. Ф.А. Матвейчука – М.: Воениздат, 1979. 368 с.
5. Абезгауз Гилель Григорьевич, Тронь Анатолий Петрович, Копенкин Юрий Николаевич, Коровина Ираида Александровна. Справочник по вероятностным расчетам. М.: Воениздат, 1966. 408 с.
6. Толковый словарь русских научно-технических терминов / Под ред. В.И. Максимова. 2 изд. Спб.: Златоуст, 2019, 800 с.

Калинина Марина Ивановна, канд. пед. наук, доцент, vka@mil.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Соловьев Юрий Валерьевич, преподаватель, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Медведев Павел Романович, курсант, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Осыко Алексей Владимирович, курсант, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

APPROACHES TO THE DESIGN AND MODELING OF RADAR SYSTEMS IN THE INTERESTS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRAINING SPECIALISTS

M.I. Kalinina, Yu.V. Solovyov, P.R. Medvedev, A.A. Osyko

Computing systems (complexes), being complex information systems [1], it is not always possible to analyze sufficiently fully and deeply from the point of view of their reliability capabilities in the interests of the consumer. Standard reliability indicators [2,3] cannot fully meet the need for such an analysis. Therefore, forecasting the technical condition of a computing complex based on the use of a model of the process of "death and reproduction" is one of the possible approaches to solving this problem.

Key words: forecasting, technical condition, operating time for failure, recovery time, processes of "death and reproduction", reliability parameters, flow intensity, limiting probability of condition, computing complex, statistical data.

Kalinina Marina Ivanovna, candidate of pedagogical sciences, docent, vka@mil.ru, Russia, St. Petersburg, Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky,

Solovyov Yuri Valeryevich, lecturer Russia, St. Petersburg, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky,

Medvedev Pavel Romanovich, cadet, Russia, St. Petersburg, Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky,

Osyko Alexey Vladimirovich, cadet, Russia, St. Petersburg, Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky

ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫМ ОБЪЕКТОМ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОЭМУЛЯЦИИ СИСТЕМЫ С ПИД-РЕГУЛЯТОРОМ

А.В. Бутрин, С.В. Феофилов

В данной статье рассматривается синтез нейросетевой системы программного управления сложным нелинейным объектом с недостаточно известной математической моделью высокого порядка («чёрный ящик»). Для повышения эффективности обучения нейросетевого регулятора на таком объекте нужна предварительная настройка матриц весовых коэффициентов, поскольку градиентные методы чувствительны к начальным условиям. Рассматриваемый объект управления в начальном приближении описывается математической моделью типа «жёсткий механический упор», для которого был настроен ПИД-регулятор, и на его основе обучен подражающий нейросетевой регулятор с возможностью дальнейшего дообучения методом обратного пропускания ошибки через прямой нейромодулятор жёсткого механического упора.

Ключевые слова: программное управление, нейронные сети, жёсткий механический упор, «чёрный ящик».

Разработка математических моделей нервных тканей живых существ и, в особенности, человеческого мозга породила революционную научную концепцию, называемую нейросетевыми технологиями. Данный подход имеет множество преимуществ перед более традиционными алгоритмами. Например, искусственные нейронные сети способны находить сложные зависимости между данными, которые коррелируют друг с другом весьма неочевидным образом, и на основании данных, полученных ранее, могут эффективно предсказывать столь же сложные и неочевидные зависимости даже в условиях сильной зашумлённости сигналов благодаря своей способности к обучению. Также, в отличие, например, от систем нечёткой логики, которые также отличаются способностью анализировать очень сложные зависимости и работать с ними, искусственные нейронные сети не требуют явного определения правил функционирования. Более того, ввиду вышеназванных достоинств, для их успешного обучения даже не всегда существует необходимость в точной математической модели объекта управления.

Таким образом, в наши дни колоссальный успех нейросетевых технологий во многом предопределил их внедрение в системы автоматического управления, поскольку сложность объектов управления постоянно растёт. Их описание часто отличается высоким порядком математической модели, которую, к тому же, не всегда возможно получить полностью, и существенными нелинейностями, которые ещё сильнее усложняют зависимость между входными и выходными данными. Данную проблему объясняет целый ряд факторов, начиная от технологических допусков и погрешностей и заканчивая применением качественно новых режимов работы, ранее неиспользуемых материалов и так далее. Кроме того, современные системы автоматического управления чаще всего являются цифровыми, что, конечно же, полностью оправдано ввиду их многочисленных преимуществ перед аналоговыми системами. Однако дискретность, а также задержки по времени значительно усиливают вышеописанные трудности.

Прежде, чем приступить к описанию данной работы, необходимо ответить на вопрос: «При каких условиях использование нейросетевых технологий в системах автоматического управления предпочтительнее классических методов синтеза?» На самом деле, если заранее известна с высочайшей степенью точности математическая модель объекта управления, то искусственные нейронные сети, несмотря на свои широчайшие возможности и успех, достигнутый в последние десятилетия, чисто математически никогда не превзойдут по качеству регулирования более традиционные алгоритмы. Однако, из описания вышеперечисленных проблем нетрудно догадаться, что в большинстве случаев крайне затруднительно или даже невозможно получение очень точной математической модели сложных объектов управления, чего как раз и требуют последние. В этом случае и раскрывается потенциал искусственных нейронных сетей, поскольку они являются универсальными аппроксиматорами, а значит, в отличие от традиционных методов синтеза систем автоматического управления, могут эффективно работать в условиях неполноты информации и дообучаться на реальном объекте управления, даже если его математическое описание отличается высокой сложностью.

Несмотря на столь значимое преимущество нейросетевых технологий по сравнению с классическими методами синтеза систем управления, в ходе анализа многочисленных современных научных работ на тему искусственных нейронных сетей и их применения в различных сферах человеческой деятельности был сделан вывод о том, что внедрение нейросетевых технологий в разные отрасли наук и производства происходит с неодинаковой степенью интенсивности. На данный момент наиболее быстрыми темпами нейросетевые технологии развиваются в таких областях, как распознавание образов, генерация звука и изображений, системы рекомендаций и принятия решений, обработка голоса и естественного языка. В то же время существуют области, где потенциал искусственных нейронных сетей пока ещё используется далеко не в полной мере. Системы автоматического управления как раз можно отнести в их список. Во многом это связано с недостаточностью научных изысканий в данном направлении, что закономерно влечёт за собой также ограниченность практической реализации нейросетевых систем автоматического управления.

Научных трудов, специализирующихся на данной тематике, сейчас крайне мало, но, тем не менее, некоторые обзорные работы [1, 2, 3] довольно подробно повествуют как о простейших, так и о сложных многомодульных типовых схемах нейросетевого управления, которые в разной степени освещены современными научными изысканиями, однако они значительно сконцентрированы на замкнутых системах управления, и лишь очень малая их часть хотя бы немного затрагивает возможные варианты реализации программного управления. Это отнюдь не означает, что управление по разомкнутому принципу слишком легко реализуется и имеет чересчур малую значимость для практического применения. Напротив, данное направление представляет колоссальный научный интерес и требует

глубокой проработки. Основным аргументом в пользу его важности и актуальности является тот факт, что в сложных системах не всегда возможно в принципе реализовать обратную связь. Например, такая проблема значительно выражена в летательных аппаратах. Очевидно, что внутри них далеко не всегда возможно установить мощный передатчик для отправки сигналов на наземную станцию управления, особенно если эти аппараты предназначены для полётов на большие расстояния и/или для работы в условиях сильных помех, когда окружающая среда неблагоприятна для распространения слабых беспроводных сигналов. Кроме этого, хотя нельзя отрицать многочисленные преимущества замкнутых систем автоматического управления, всё-таки многие технические системы эффективно реализуются и без обратной связи, что сулит выигрыш по простоте, надёжности и быстродействию. Например, из-за ненадобности обрабатывать сигналы с датчиков, высвобождаются дополнительные вычислительные мощности.

С другой стороны, систему, которая работает «вслепую» может быть значительно сложнее реализовать, особенно в тех условиях, о которых было сказано в начале. Кроме того, многие типовые схемы нейросетевого управления принципиально предполагают наличие обратной связи. Именно поэтому тема оптимизации нейросетевого программного управления для сложных нелинейных объектов с ограничителями является интересной и крайне актуальной на данный момент. В тоже время, необходимо понимать, что данному способу программного управления присущ недостаток, который имеют все разомкнутые системы управления. Он выражается в неспособности системы адаптироваться ко всевозможным нестационарностям и внешним возмущениям, а также в накоплении ошибки управления с течением времени даже при очень точной настройке нейросетей, из-за чего длительность функционирования такой системы на практике может быть ограничена по времени и по условиям работы, что объясняется тем фактом, что приходится иметь дело с эмулятором, а не предикатором [4]. Итак, перед тем как приступить к данной работе, необходимо изложить алгоритм синтеза нейросетевого регулятора, который приводится на рис. 1.

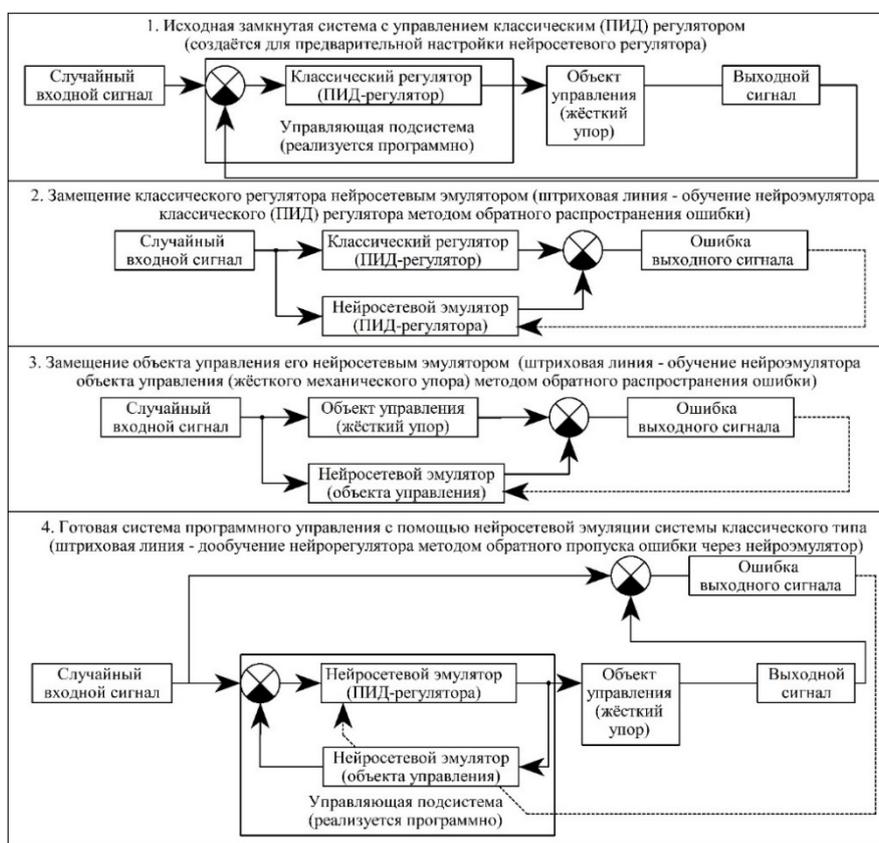


Рис. 1. Алгоритм синтеза нейросетевого регулятора по пунктам

Как уже упоминалось ранее, математическая модель объекта управления, для которого необходимо синтезировать регулятор, отличается существенной нелинейностью и высоким порядком. Она практически неизвестна, объект можно охарактеризовать как «чёрный ящик», поэтому классические методы синтеза неработоспособны в данном случае. Очевидно, что нужно использовать для синтеза системы программного управления таким объектом искусственную нейронную сеть. В начальном приближении данный объект управления можно представить математическим описанием жёсткого механического упора, поскольку так наиболее достоверно с физической точки зрения описывается его поведение. Для него уже не составит труда синтезировать классический регулятор, например, ПИД-регулятор, любым из доступных методов (пункт 1 на рис.1). Далее, согласно пунктам 2 и 3 рис.1 необходимо обучить две искусственные нейронные сети копировать прямую динамику данных объектов. В случае ПИД-регулятора это нужно для синтеза подражающего нейросетевого регулятора, который затем можно будет дообучить методом обратного пропуска ошибки через прямой нейросетевой эмулятор объекта управления (пункт 4 на рис.1), поскольку интуитивно понятно, что если система не получает сигнал обратной связи, то это нужно компенсировать максимально подробными «знаниями» нейросетевого регулятора о динамике объекта управления и/или о том, как им следует управлять.

Необходимость в такой многоэтапной последовательности действий заключается в том, что после минимизации значения функции ошибки в процессе математического моделирования можно ожидать также, что в процессе дообучения данного регулятора на реальном объекте управления значение функции ошибки такой системы будет находиться в окрестностях глобального минимума, что крайне важно, поскольку из-за высокой сложности объекта управления с высокой долей вероятности эта функция окажется мультимодальной, что вкпе с градиентными методами дообучения нейросетевого регулятора, которые чувствительны к начальным условиям, придаёт особую важность начальным значениям элементов матриц нейросети, поскольку без их начального вычисления в процессе математического моделирования есть существенный риск застрять в локальном минимуме в процессе дообучения данного регулятора на реальном объекте управления. Данный подход позволяет не только с высокой долей вероятности избежать данной проблемы, но и значительно ускорить обучение. Кроме этого, предварительное вычисление матриц нейросетевого регулятора необходимо для избегания внештатных ситуаций, которые могут произойти в случае выставления случайных или единичных весовых коэффициентов, в процессе обучения на реальном объекте управления. Например, для многих приводов категорически недопустимы удары о жёсткие механические упоры, которые могут произойти, если обучать нейронную сеть с нуля. В случае, например, с гидроприводом, даже если это и не приведёт к его поломке, то в некоторых случаях может привести к залипанию поршня в крайнем положении.

Итак, жёсткий механический упор математически можно описать данной системой уравнений [5]:

$$\dot{y} = \begin{cases} \frac{k*u-y}{T^2} - \frac{2*\xi*\dot{y}}{T}, & \text{если } |y| < D \text{ или } |y| = D \text{ и } (k*u - y) * \text{sign}(y) \leq 0, \\ 0, & \text{если } |y| = D \text{ и } (k*u - y) * \text{sign}(y) > 0, \end{cases} \quad (1)$$

где k – коэффициент передачи, u – входной сигнал, y – выходной сигнал, ξ – относительный коэффициент затухания, T – постоянная времени, D – ограничение на выходной сигнал.

Пусть, например, в системе уравнений (1) будет принято: $k = 1$, $T = 1$, $\xi = 0.25$. Если при таких константах на вход подать синусоидальный сигнал амплитудой 1 см и частотой 1 рад/с, то выходной сигнал объекта типа «жёсткий механический упор» и его первая производная по времени (перемещение и скорость его выходного звена) будут представлены графиками, которые приведены на рис.2.

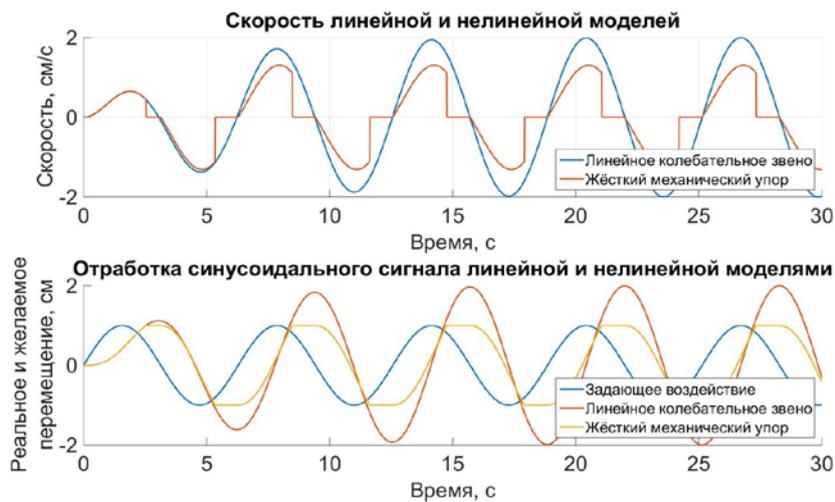


Рис. 2. Реакция объекта типа «жёсткий механический упор» на синусоидальный сигнал амплитудой 1 см и частотой 1 рад/с

Как известно, ПИД-регулятор имеет следующую структуру:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int_0^t e(\tau)d(\tau) + K_d * \frac{de}{dt},$$

где K_p – коэффициент усиления пропорциональной составляющей регулятора, e – ошибка управления, t – время моделирования, K_i – коэффициент усиления интегральной составляющей регулятора, и K_d – коэффициент усиления дифференцирующей составляющей регулятора.

Нетрудно догадаться, что нелинейность данного объекта управления выражена довольно существенно, поэтому обычные методы настройки ПИД-регулятора здесь не подойдут. Простейшим методом настройки его коэффициентов в данном случае может быть генетический алгоритм [6] или релейная настройка. Последняя довольно распространена в коммерческих регуляторах в виду своей простоты и эффективности. Этот метод довольно подробно описывается в соответствующей статье Лю Фана [7, 8]. В данном случае такой алгоритм можно использовать для настройки параметров ПИД-регулятора. Суть данного метода состоит в том, что в замкнутую систему вместо него в начале подсоединяется реле, в результате чего объект управления начинает генерировать незатухающие колебания при отработке задающего воздействия. Выходной сигнал объекта управления по форме близок к синусоиде с периодом T_u и амплитудой a , поскольку он является мощным фильтром для ослабления высших гармоник. Согласно этому методу, если модуль максимального управляющего воздействия реле равен $2d$, то необходимо найти дополнительный коэффициент, который будет равен:

$$K_u = \frac{4 * d}{\pi * a},$$

где d – половина модуля максимального управляющего воздействия реле, a – амплитуда колебаний выходного сигнала.

Далее значения параметров регулятора рассчитываются по формулам из статьи Лю Фана [8]. Они приводятся в таблице.

Формулы расчёта коэффициентов ПИД-регулятора (по алгоритму статьи Лю Фана)

	Пропорциональный коэффициент	Интегральный коэффициент	Дифференциальный коэффициент
ПИ-регулятор	$0.45 * K_u$	$0.54 * K_u / T_u$	–
ПИД-регулятор	$0.6 * K_u$	$1.2 * K_u / T_u$	$0.75 * K_u * T_u$

В результате расчётов по алгоритму статьи Лю Фана получились следующие значения коэффициентов ПИД-регулятора: $K_p = 88.104$, $K_i = 22.362$ и $K_d = 38.748$. На рис. 3 представлены переходные процессы объекта типа «жёсткий механический упор» соответственно без ПИД-регулятора и с ним при задающем воздействии, которое равно 0.5 см, причём прямые оценки качества переходного процесса позволяют сделать вывод о хорошем качестве регулирования, благодаря чему можно перейти к следующему этапу синтеза системы.

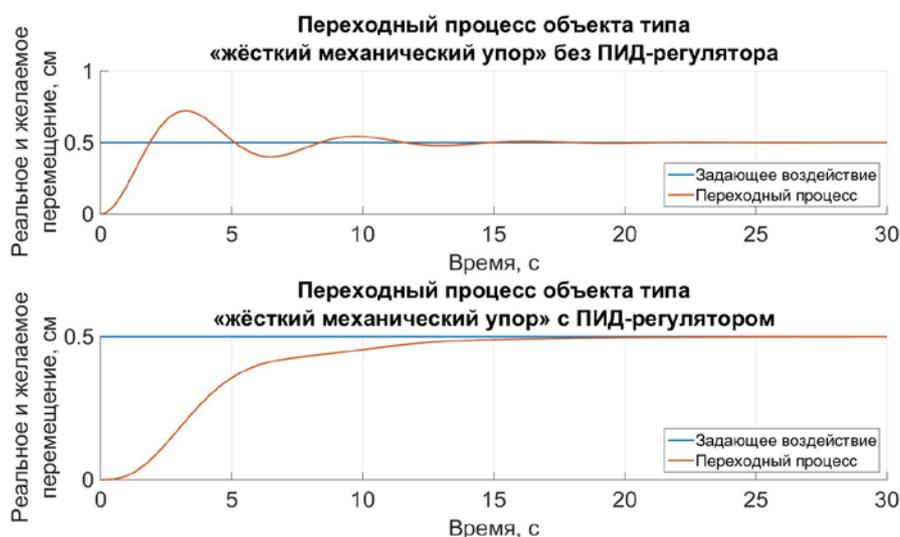


Рис. 3. Переходные процессы объекта типа «жёсткий механический упор» без ПИД-регулятора (перерегулирование составило 44.44%, время регулирования (с точностью до 5%) равно 10.8с) и с ПИД-регулятором (перерегулирование составило 0%, время регулирования (с точностью до 5%) равно 11.95с)

Теперь, когда классическая замкнутая система готова, можно приступить к созданию и обучению нейронных сетей методом обратного распространения ошибки, в которых оптимальным решением будет применить функцию активации ReLU:

$$y = f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ x, & x \geq 0, \end{cases}$$

где y – выходной сигнал, x – входной сигнал.

Оптимальность данного решения заключается в том, что эта функция работает как переключатель, что и требуется для имитации поведения объекта управления, динамика которого может быть описана дифференциальными уравнениями с разрывными правыми частями. Также, поскольку в целом сложность объекта управления типа «жёсткий механический упор» как математической модели невысока, то для восстановления вектора состояния объекта управления достаточно использования линий задержек, что позволяет сделать вывод о том, что для его эмуляции подойдёт нейросеть прямого распространения. Минимальное количество слоёв для такой сети – три, притом, что только скрытый слой имеет функции активации, а минимальные требования к её структуре описываются формулой [9]:

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n + 1 \\ 4 * n_{sat} + 2 * n_{lin} \\ n \end{pmatrix}, \tag{2}$$

где c_1 – число входных нейронов, c_2 – число скрытых нейронов, c_3 – число выходных нейронов, n – порядок системы, n_{sat} – число фазовых переменных вектора состояния с ограничениями, n_{lin} – число фазовых переменных вектора состояния без ограничений.

Из формулы (2) очевидно, что для простейшего нейросетевого эмулятора объекта типа «жёсткий механический упор», исходя из его дискретного математического описания, достаточно 4 нейрона на входе, 4 нейрона в скрытом слое с функцией активации ReLU и один выходной нейрон. В рамках данной работы было эмпирически установлено, что внедрение трёх тактовых задержек на сигнал вместо одной, а также наращивание числа нейронов в скрытом слое до пятидесяти значительно улучшило качество подражания поведению данного объекта управления в динамике и в статике. Дальнейшее наращивание линий задержек без изменения архитектуры нейронной сети не дало

существенного выигрыша в уменьшении ошибки эмуляции. Касательно же получения эталонных данных с объекта управления для обучения нейросетевого регулятора необходимо отметить, что важно обеспечить достаточное разнообразие обучающей выборки. На этом этапе также сложно вывести каких-то универсальных алгоритмов, однако в большинстве случаев такая выборка должна хорошо иллюстрировать поведение объекта управления как в динамике, так и в статике, для чего, соответственно, отлично подойдут синусоидальные сигналы и прямоугольные импульсы со случайными параметрами в равномерном соотношении [9].

Итак, далее искусственные нейронные сети обучаются и функционируют согласно алгоритму, приведённому на рис. 1. Финальный вид системы представлен в его четвёртом пункте. В этом случае по завершению обучения переходный процесс системы примет вид, показанный на рис.4, из которого можно заметить, что хотя перерегулирование осталось нулевым, но переходный процесс немного затянулся, что может быть объяснено недостаточным количеством итераций обучения и/или необходимостью дальнейшего совершенствования архитектуры нейросетевого регулятора.

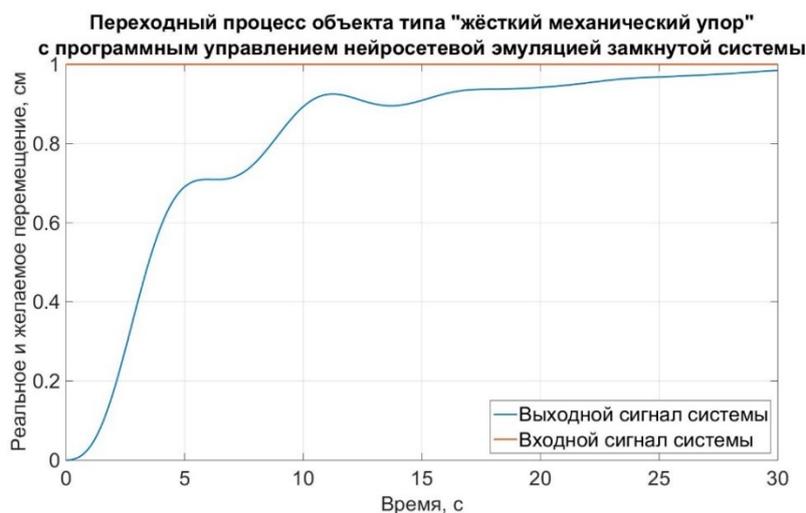


Рис. 4. Переходный процесс системы программного управления объектом типа «жёсткий механический упор» с помощью нейросетевой эмуляции замкнутой системы из объекта управления и ПИД-регулятора (перерегулирование составило 0%, время регулирования (с точностью до 5%) равно 17.28с)

Как уже отмечалось в начале, в первом случае проблема может быть решена дообучением полученного нейросетевого регулятора на реальном объекте управления. Таким образом, способ нейросетевого управления, предложенный в данной статье, позволяет перейти от замкнутой системы с классическим методом управления к программному управлению путём дальнейшего развития идеи подражающего нейроуправления в его сочетании с методом обратного распространения ошибки через прямой нейроэмулятор. Итак, в ходе данного исследования неизвестная математическая модель сложного объекта управления в начальном приближении была описана моделью объекта управления типа «жёсткий механический упор». Для неё синтезирована система программного управления, состоящая из нейросетевого регулятора, в состав которого вошли две подсистемы эмулирующие прямые динамики объекта управления и ПИД-регулятора, который в ходе дальнейшего дообучения на реальном объекте управления должен точно копировать его инверсную динамику и лучше справляться с задачей обеспечения высокого качества регулирования в условиях неполноты информации, чем традиционный ПИД-регулятор.

Список литературы

1. Siddique, N. H. Computational intelligence: synergies of fuzzy logic, neural networks, and evolutionary computing / Nazmul Siddique, Hojjat Adeli // Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2013.
2. Чернодуб А.Н., Дзюба Д.А. Обзор методов нейроуправления // Проблемы программирования, 2011. № 2. С. 79–94.
3. Alemie A. Neural Network Based Direct Model Reference Adaptive Control Technique For Improving Tracking Performance in Nonlinear Systems: mas. dis. – Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia, 2019. 79 p.
4. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учебное пособие. Нейронные сети и нейроконтроллеры / М.В. Бураков. СПб.: ГУАП, 2013. 282 с.
5. Феофилов Д.С. Особенности моделирования звеньев с ограничителями / С.В. Феофилов, Д.Л. Хапкин // Информатика: проблемы, методы, технологии, Материалы XXI Международной научно-методической конференции. ООО «Вэлборн», 2021. С. 644-649.
6. Горячев О. В. Расчёт параметров ПИД-регулятора с помощью генетического алгоритма в среде MatLab: учебно-методическое пособие. Тула: Издательство ТулГУ, 2018. 39с.
7. Бутрин А.В. Самонастройка ПИД-регулятора на основе реле с обратной связью // XX Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов». Тула: Изд-во ТулГУ, 2022. 478 с.
8. Фан Л. Самонастройка ПИД-регуляторов на основе реле с обратной связью. – Томск: Томский политехнический университет, 2015. 4 с.

9. Хапкин Д.Л. Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничениями: дис. канд. техн. наук 2.3.1. ТулГУ, Тула, 2023. 142 с.
10. Горячев О. В. Минимизация функций в среде MatLab с помощью генетического алгоритма: учебно-методическое пособие. Тула: Издательство ТулГУ, 2018. 17с.
11. Феофилов С.В. Базовый синтез нейросетевых регуляторов для нелинейных следящих систем управления / С.В. Феофилов, Д.Л. Хапкин // ИНФОРМАТИКА: ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ, Материалы XXI Международной научно-методической конференции. ООО «Вэлборн», 2021. С. 1314-1322.
12. Феофилов С.В. Базовый синтез нейросетевых регуляторов для следящих систем управления / С.В. Феофилов, Д.Л. Хапкин // Известия ТулГУ. Технические Науки, 2020. № 11. С. 256-261.

Бутрин Алексей Владимирович, аспирант, gfdhj2013@ya.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Феофилов Сергей Владимирович, д-р техн. наук, доцент, svfeofilov@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

SOFTWARE CONTROL OF A NONLINEAR OBJECT USING NEUROEMULATION OF A SYSTEM WITH A PID-CONTROLLER

A.V.Butrin, S.V. Feofilov

This article discusses the synthesis of a neural network system for program control of a complex nonlinear object with an insufficiently known high-order mathematical model («black box»). To increase the efficiency of training a neural network controller on such an object, preliminary adjustment of the weight coefficient matrices is necessary, since gradient methods are sensitive to initial conditions. The control object under consideration is described in an initial approximation by a mathematical model of the “rigid mechanical stop” type, for which a PID controller was configured, and on its basis, an imitating neural network controller was trained with the possibility of further training by the method of reverse error transmission through a direct neuroemulator of a rigid mechanical stop.

Key words: program control, neural networks, rigid mechanical stop, «black box».

Butrin Alexey Vladimirovich, postgraduate, gfdhj2013@ya.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Feofilov Sergey Vladimirovich, doctor of technical sciences, docent, svfeofilov@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.9

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-206-207

К ВОПРОСУ ТЕРМИНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В.В. Птицын

При автоматизации умственного труда необходимо однозначное толкование применяемых терминов. В работе обосновывается главенство государственных нормативных документов в области технологии машиностроения над производственно-хозяйственными, рассматривается соответствие применяемых в научно-технических работах терминов, касающихся времени, смысла понятий и реальности. Показано, что производственный цикл – это реальный и определяемый показатель технологии машиностроения и он соответствует юридическому понятию – срок выполнения заказа, а его значение определяется технологическим маршрутом и длительностью его элементарных составляющих и подготовкой к ним. Элементарными составляющими производственного цикла является цикл технологической операции и подготовительно-заключительное время производственных процессов, то есть основные операции основного производства. Цикл технологической операции – календарное время от начала до конца технологической операции, имеющей активную и пассивную часть, а отношение цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых изделий называют штучным временем. Штучное время не определяется как сумма его составляющих, так как они могут накладываться друг на друга. Схожие по звучанию термины «штучное время» и «норма штучного времени» имеют разные смысловые понятия. Регламентированием норм штучного и подготовительно-заключительного времени можно стимулировать производительность и гибкость производства. Не все производительно-хозяйственные термины допустимы в научно-технических работах.

Ключевые слова: производство, производственный цикл, нормы времени.

В эпоху, когда человек перекладывает на машину функции не только физического, но и умственного труда, необходимо единство применения терминов и определений основных понятий машиностроительных производств. Цель работы: обеспечить, на основе государственных нормативных документов, понятийно-разъяснительную поддержку субъектов научно-технической и производственно-хозяйственной деятельности машиностроения в вопросах, касающихся характеристик производственных процессов, связанных с понятием «время».

Необходимость выполнения настоящей работы вызвана выявлением, при рассмотрении научно-технических работ машиностроения, недопустимой вольности в трактовке таких характеристик производственных процессов, как цикл, время и связанными с ними понятиями.

Основные задачи работы: обоснования главенства научно-технических понятий над производственно-хозяйственными и другими понятиями при выполнении научно-технических работ, особенно касающихся, оптимизации и автоматизации машиностроительного производства и доказательство необходимости однозначной трактовки терминов, характеризующих производственный процесс и его элементы.

Для достижения обозначенной цели и решения поставленных задач примем следующие нормативно-установленные положения: производство – это вид деятельности человека, направленный на создание экономического продукта [1], то есть продукта, который может быть продан или производится согласно заказа (договора); заказ может быть, в том числе, и от собственных подразделений организации. Единицами экономического продукта (продукта производства, продукта труда) в машиностроении считаются изделия, к которым относятся завершенные и незавершенные предметы производства, в том числе заготовки [2]. В заказе изделие характеризуется чертежом с наименованием изделия и обозначением документа или эскизом, если выполняется только определенная технологическая операция, а также указывается количество изделий в штуках.

Главными пунктами заказа являются стоимость и срок изготовления. Стоимость заказа устанавливается с учетом производственных затрат, где для их определения основным ресурсным показателем являются технологические времена, а срок изготовления согласовывается с производственным циклом.

Производственный цикл с научно-технической точки зрения – это интервал времени от начала до окончания производственного процесса изготовления или ремонта изделия [3].

Интервал времени: «Длительность между двумя моментами времени» [4]. Встречающиеся в научных работах технического или экономического направления, особенно касающихся оптимизации, словосочетание «длительность производственного цикла», выглядит как длительность длительности времени. Возможно, авторы этих работ вкладывают в понятие «производственный цикл» свой смысл, не соответствующий определению ГОСТ 14.004-83, но тогда необходимы пояснения.

Показатель «производственный цикл» может устанавливаться по объективным показателям технологических времен или директивно. Директивно производственный цикл устанавливается, например, при выполнении государственных заказов. Если сроки выполнения заказа установлены директивно, то проектирование элементарных частей производственного процесса ведется исходя из этих сроков, но с учетом нормативных документов, причем интервал времени разработки технологической документации включается в производственный цикл, а вопросы оптимизации расходования ресурсов отодвигаются на второй план.

В машиностроении применение термина «производственный цикл» возможно как для циклических процессов (установившееся производство), так и для нециклических (опытное производство) [5], а его показатель используется при стратегическом планировании.

Повторный заказ на изготовление изделий является основанием для пересмотра показателя «производственный цикл» с учетом серийности и внесением его в автоматизированные системы: технологической подготовки производства (СAPP – системы) и управления данными об изделии (PDM – системы) [6].

Встречающееся толкование понятия «производственный цикл», как интервал времени превращения материала в изделие, в условиях производств с многочисленными кооперированными связями, позволяющими исключить часть технологических действий непосредственно на предприятии, не имеет смысла и приводит к неопределяемости.

Реальный смысл имеет единство показателей: технологического (научно-технического) – производственный цикл и юридического – срок выполнения заказа, которые следует принимать исходными для решения задач оптимизации производства, ресурсосбережения и других. При этом «моментами времени» производственного цикла являются: начало – утверждение заказа и внесение в автоматизированные системы организации сведений о нем, а окончание – предъявление продукции заказа с внесением соответствующих сведений в автоматизированные системы. Значение величины производственного цикла определяется технологическим маршрутом и длительностью его элементарных составляющих – технологических операций и подготовкой к ним. [1]

На показатель производственного цикла в первую очередь оказывают влияние процессы, связанные с выполнением заказа, то есть на изготовление продукции – называемые производственными. В технологическом (научно-техническом) смысле это основные операции основного производства. Одними из главных показателей, характеризующих технологические операции, считаются показатели времени, они же и регламентируются в первую очередь при технологическом нормировании, при этом рабочее время относится к производственным ресурсам. [7]

Основными показателями времени, характеризующими непосредственно технологическую операцию, являются цикл технологической операции C и подготовительно-заключительное время $T_{пз}$.

В определении «цикл технологической операции» отмечается, что это интервал календарного времени от начала до конца технологической операции [7], тем самым указывается на непрерывность процесса.

При механической обработке в производственно-хозяйственном смысле технологическая операция начинается с выполнения действий – установить и закрепить (зафиксировать) изделие, а заканчивается – снять изделие, независимо от количества одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий [7]. Цикл технологической операции не считается законченным, пока изделие не снято с технологического оборудования и не может быть перемещено на последующие операции технологического маршрута.

Технологической операции предшествует подготовка технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции, то есть наладка [7]. Наладка может выполняться как перед одной операцией, так и перед несколькими, в том числе и повторяющимися.

Если затраты времени необходимо отнести к одному изделию, а цикл технологической операции определён на несколько одновременно изготавливаемых, то отношение цикла к их числу, независимо от степени механизации и автоматизации производства, называют штучным временем $T^{шт}$ [7,8].

В состав штучного времени могут входить оперативное время $T_{оп}$, машинное время $T^м$ и их составляющие, а также другие характеристики времени технологической операции, которые часто перекрывают друг друга.

Важно отметить, что термины ГОСТ 3.1109-82, характеризующие технологическую операцию, в том числе и характеризующие время, полностью справедливы при условии – один рабочий, один станок, а производство не механизированное и не автоматизированное.

Определение значения штучного времени как суммы возможных его составляющих в производственно-хозяйственной деятельности возможно только с большими уточнениями, а в научно-технической деятельности не допустимо. Например, при оперативном или тактическом планировании многостаночного обслуживания, в цикл технологической операции включается время ожидания обслуживания технологического оборудования.

Часто в производственно-хозяйственной деятельности при нормировании затрат рабочего времени употребляется термин «штучно-калькуляционное время». Однако при применении этого термина следует помнить, что во-первых: ГОСТ 14.107-76 «Расчет трудоемкости изготовления изделий с применением средств вычислительной техники», где штучно-калькуляционное время определялось как сумма штучного времени и части подготовительно-заключительного времени, отменен, а во-вторых – процессы, характеризуемые подготовительно-заключительным временем, больше связаны с подготовкой технологического оснащения к циклам технологической операции, а не с изделием. На государственном уровне показатели затрат рабочего времени и их обозначения утверждены в методических рекомендациях по разработке норм труда [9].

При проектировании производств, для оценки затрат времени работы оборудования и персонала, применяют показатели «станкоемкость» и «трудоемкость» соответственно [10]. Расчет этих показателей выполняют по расчетным нормам штучного времени $H_{в^{шт}}$ – норма времени на выполнение объема работы, равной единице нормирования при выполнении технологической операции [7].

Если затраты на выполнение объема работы, то есть затраты энергии, характеризовать показателями «емкости»: «станкоемкость», «трудоемкость», то и единицы измерения должны быть соответствующими.

Однако, эти термины применяют в производственно-хозяйственной деятельности, и они упоминаются в некоторых профессиональных стандартах на нижних уровнях квалификации. В научно-технических работах не следует применять термины понятий, не определенных государственными нормативными документами.

В отличие от $T^м$, $H_{в^{шт}}$ как и другие нормы времени, регламентируют время выполнения некоторого объема работы (определенной части заказа), в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации [7] в рамках трудовых функций (трудоов действий), описанных в профессиональных стандартах, необходимое для своевременного выполнения заказа.

Единицами технического нормирования являются количество производственных объектов, число работающих на которых устанавливают технологическую норму или количество деталей, на которое устанавливают норму времени [7]. Время в технологии машиностроения не является единицей нормирования и термин «нормируемое время» не следует применять в научно-технических работах.

Таким образом, нормы времени наравне с другими показателями, устанавливаются с целью выполнения заказа в оговоренные договором сроки, то есть в течении производственного цикла. Создание условий для сокращения расходов при выполнении каждого последующего цикла одноименного заказа относятся к задачам оптимизации производственных процессов и технологических операций.

Иногда планируемым постепенным уменьшением нормы времени стимулируют повышение производительности или гибкости производства. Гибкость производства сопровождается дополнительными издержками при наладке оборудования. В этом случае решение задачи оптимизации сводится к нахождению путей ускорения наладки оборудования, то есть сокращения норм подготовительно-заключительного времени. Классическим примером целенаправленного постоянного снижения нормы подготовительно-заключительного времени является опыт фирмы «Тоюта», добившейся его сокращения до 3 минут при наладке 800 – тонного пресса, использующегося для штамповки автомобильных капотов и крыльев [11,12]. Смену технологической оснастки менее чем за 1 минуту стали называть «в одно касание».

Выводы: достоверность решений научно-технологических задач машиностроения и результатов решения этих задач обеспечивается их описанием в соответствии технологическим понятиям, терминам и определениям, установленным ГОСТами; регламентация норм времени не только определяет объем работы, но и стимулирует производительность и гибкость производства; допустимые в производственно-хозяйственной деятельности термины «станкоемкость», «трудоемкость», «штучно-калькуляционное время» и другие могут вводить в заблуждение при научно-технической деятельности в машиностроении.

Список литературы

1. ГОСТ 2.0.002-2014 Система стандартов безопасности труда.
2. ГОСТ 15895-77 Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения.
3. ГОСТ 14.004-83 Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий.
4. ГОСТ 8.567-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения времени и частоты. Термины и определения.
5. ГОСТ 3.1102-2011 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов. Общие положения.
6. Профессиональный стандарт 40.031 «Специалист по технологиям механосборочного производства в машиностроении» 2021г.
7. ГОСТ 3.1109-82 Межгосударственный стандарт. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий.

8. ГОСТ 23004-78 Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении. Основные термины, определения и обозначения.
9. Министерство труда и соцзащиты РФ, приказ от 31 мая 2013 г. №235 «Об утверждении методических рекомендаций для федеральных органов исполнительной власти при разработке типовых отраслевых норм труда».
10. ОНТП 14-96 (I). Автопром Роскомстата.
11. Шонбергер Р. Японские методы управления производством: (девять простых уроков): Сокр. пер. с англ./ Научн. ред. и авт. предисл. Л.А. Конарева. М.: Экономика, 1988. 251 с.
12. Монден Я. «Тойота»: методы эффективного управления: Сокр. пер. с англ. / Науч. Ред. А.Р. Бенедиктов, В.В. Мотылев. М.: Экономика, 1989. 288 с.

Птицын Виктор Викторович, канд. техн. наук, доцент, kamen1955@inbox.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

TO THE QUESTION OF TERMINOLOGY IN MECHANICAL ENGINEERING

V.V. Ptitsyn

When automating mental labor, an unambiguous interpretation of the terms used is necessary. The paper substantiates the primacy of state regulatory documents in the field of mechanical engineering technology over production and economic ones, considers the correspondence of terms used in scientific and technical works concerning time, the meaning of concepts and reality. It is shown that the production cycle is a real and definable indicator of mechanical engineering technology and it corresponds to the legal concept – the deadline for completing the task, and its duration is determined by the technological route and the duration of elementary components and preparation for them. The elementary components of the production cycle are the cycle of the technological operation and the preparatory and final time of the production processes, that is, the main operations of the main production. The cycle of a technological operation is the calendar time from the beginning to the end of a technological operation having an active and passive part, and the ratio of a technological operation to the number of simultaneously manufactured products is called piece time. Piece time is not defined as the sum of its components, since they can overlap each other. Similar-sounding terms "piece time" and "piece time norm" have different semantic concepts. By regulating the piece and preparatory-final time, it is possible to stimulate productivity and flexibility of production. Not all productive and economic terms are acceptable in scientific and technical works.

Key words: production, production cycle, time norms.

Ptitsyn Viktor Viktorovich, candidate of technical sciences, docent, kamen1955@inbox.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 553.98:550.832

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-209-210

ПРОВЕРКА МЕТОДА ВОЗГОРАНИЯ ТОРФЯНИКОВ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ ДАРБИНА – УОТСЕНА

А.П. Зверев, А.В. Баринов

В данной статье рассматривается вопрос об использовании временного ряда для определения возможного возгорания торфяников. В статье проведен анализ построен температурный ряд, а также показано будет ли автокорреляция в выбранной в данном ряде температуры или же нет. Если оказался довольно высоким коэффициент автокорреляции первого порядка, то тогда с высокой долей уверенности можно говорить о том, что исследуемый ряд имеет явную тенденцию. Данный факт подтверждает критерий Дарбина – Уотсена.

Ключевые слова: торфяные болота, временной ряд, автокорреляционная функция, температура внутри торфяника, коэффициент автокорреляции, критерий Дарбина – Уотсена.

Торфяной пожар является разновидностью почвенного лесного пожара. Если рассматривать, к примеру 2009 год, то данный период ознаменовался значительными торфяными пожарами, в частности, в Московской области, более точно в Орехово – Зуевском районе. Согласно статистике к началу сентября данного года было зафиксировано более 20 тыс. возгораний на площади более 1млн. гектаров. [1,2,3,4,5,7,8,9].

Так в 2021году в г. Екатеринбурге Свердловской области тление торфяников происходило на территории 120 гектаров. В некоторых районах был введен режим ЧС. Ликвидация последствий торфяных пожаров продолжалась более двух недель и были задействованы более 270 человек и 110 единиц техники. В августе 2022 года в Центральной России также горели не только леса, но и торфяники. С последними боролись в Рязанской, Владимирской, Ивановской, Нижегородской областях. Общая площадь пожаров составила более 5 тыс. гектаров.

Рассмотреть автокорреляцию для температурных рядов и контроля возгорания торфяников.

В данной статье рассматривается контроль возгорания торфяников на основе информации полученной от датчиков температуры и влажности [1,2,3,4,5,6,7].

Далее стоит рассмотреть объект как ряд последовательных периодов, данные периоды можно также называть временными рядами. Сначала стоит определиться что же такое временной ряд. Итак, временной ряд представляет собой разновидность каких – либо значений за определенные периоды или моменты времени. Применение известных методов корреляционно – регрессионного анализа для определения существования причинно – следственных связей. [2,3,6,10,11,13,14]

Временной ряд представляет собой значения какого – либо параметра или же показателя, которые рассматриваются как правило в определенные промежутки времени. С этой целью говорят, что необходимо использование традиционных методов корреляционно – регрессионного анализа. Рассмотрение данного вида анализа позволит изучить причинно – следственные связи и зависимости переменных. Если не учитывать или же учитывать только некоторую специфику рядов, только временных или же только температурных без учета их взаимодействия, то в результате могут возникнуть серьезные недостатки. Для рассмотрения взаимосвязи данных процессов и элементов в рядах используют автокорреляцию. В том случае, когда при проведении исследований дисперсия остатков будет величиной постоянной (*const.*), то в данном случае говорят о ковариации. Сама автокорреляция как правило вызывается несколькими причинами, во – первых, наличие ошибок измерения получаемой величины в использовании предполагаемого признака, во – вторых, неправильно выбранной модели, когда фактор не будет влиять на остатки [9,10,16,17,18].

В случаях, перечисленных ранее необходимо изменять форму данных модели для расчета автокорреляции.

На сегодняшний день известным критерием определения автокорреляции является критерий Дарбина-Уотсона.

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}.$$

Здесь e_t - остатки регрессионного уравнения. Для вычисления остатков можно воспользоваться известным методом, методом наименьших квадратов. С его помощью возможно установить взаимосвязь между d - статистикой и выборочным коэффициентом корреляции между соседними ошибками e_t и e_{t-1} .

Величина d - (статистика) это отношение суммы квадратов разностей последовательных значений остатков к величине остаточной суммы квадратов по модели регрессии. Также значение критерия Дарбина – Уотсона рассматривается наряду с коэффициентом детерминации. Можно показать, что при больших значениях n существует следующее соотношение между критерием Дарбина-Уотсона d и коэффициентом автокорреляции остатков первого порядка r_1 [9,10,11]

$$d \approx 2(1 - r_1).$$

Таким образом, если в остатках существует полная положительная автокорреляция и $r = 1$, то $d = 0$.

Если в остатках полная отрицательная автокорреляция, то $r = -1$ и, следовательно, $d = 4$.

Если автокорреляция остатков отсутствует, то $r = 0$ и $d = 2$. Т.е. $0 < d < 4$

Алгоритм выявления автокорреляции остатков на основе критерия Дарбина-Уотсона следующий:

Выдвигается гипотеза H_0 об отсутствии автокорреляции остатков. Альтернативные гипотезы H_1 и H_1^* состоят, соответственно, в наличии положительной или отрицательной автокорреляции в остатках.

Далее по таблицам определяются критические значения критерия Дарбина - Уотсона d_L и d_U для заданного числа наблюдений n , числа независимых переменных модели m и уровня значимости α . По этим значениям числовой промежутки $[0; 4]$ разбивают на пять отрезков. Принятие или отклонение каждой из гипотез с вероятностью $P = 1 - \alpha$ осуществляется следующим образом: $0 < d < d_L$ – есть положительная автокорреляция остатков. H_0 отклоняется, с вероятностью $P = 1 - \alpha$ принимается H_1 ;

Если $d < d_L < d_U$ - то в данном случае будет зона неопределенности;

$d_U < d < 4 - d_U$, в данном случае нет оснований отклонять H_0 , т. е. автокорреляция отсутствует.

$4 - d_U < d < 4 - d_L$ – зона неопределенности

$4 - d_L < d < 4$ – существует отрицательная автокорреляция остатков, гипотеза H_0 отклоняется с вероятностью $P = 1 - \alpha$, принимается гипотеза H_1^*

Если фактическое значение критерия Дарбина-Уотсона попадает в зону неопределенности, то на практике предполагают существование автокорреляции остатков и отклоняют гипотезу H_0 . Таким образом, коэффициент автокорреляции характеризует зависимость между соседними уровнями ряда и автокорреляцией самого временного ряда.

Следовательно, коэффициенты автокорреляции показывают о существовании или линейной, или близкой к линейной зависимости выбранных значений ряда, а также об отсутствии зависимости вообще. В случае отсутствия коэффициент автокорреляции стремится к нулю [9,10].

Для проверки правильности данного высказывания на наличие коэффициентов автокорреляции необходимо произвести вычисление линейных коэффициентов автокорреляции, которые определяются с использованием временного ряда, вычисленного на основе логарифмов исходных уравнений. Результатом вычислений будут коэффициенты автокорреляции, которые и будут характеризовать есть ли связь линейная или нет, отсутствует вообще тенденция.

Для доказательства данного фактора и проверки наличия автокорреляции используется критерий Дарбина – Уотсона. Возможные значения данного критерия находятся в интервале $(0 - 4)$.

Рассчитаем коэффициент автокорреляции на основе следующей формулы:

Тогда коэффициент автокорреляции первого порядка будет иметь следующий вид:

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_1)(y_{t-1} - \bar{y}_2)}{\sqrt{\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y}_1)^2 \cdot \sum_{t=2}^n (y_{t-1} - \bar{y}_2)^2}}$$

где y_t – элементы (температура внутри торфяника), n – общее число взятых температур для проведения анализа автокорреляции

$$\bar{y}_1 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=2}^n y_t, \quad \bar{y}_2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=2}^n y_t - 1.$$

Рассмотрим далее пример. Найти коэффициенты автокорреляции r_1 соответственно первого порядка, если известно, что температура внутри торфяника нарастает последовательно.

Основные параметры расчета критерия Дарбина - Уотсена

1	2	3	4	5	6	7	8
1	y_t	y_{t-1}	$y_t - \bar{y}_1$	$y_{t-1} - \bar{y}_2$	$(y_t - \bar{y}_1)(y_{t-1} - \bar{y}_2)$	$(y_t - \bar{y}_1)^2$	$(y_{t-1} - \bar{y}_2)^2$
1	10	-	-	-	-	-	-
2	14	10	-18	-15,57	280,26	324	242,42
3	19	14	-13	-11,57	150,41	169	133,86
4	22	19	-10	-6,57	60,57	100	43,16
5	30	22	-2	-3,57	7,14	4	12,74
6	39	30	7	4,43	31,00	49	19,62
7	45	39	13	13,43	174,59	169	180,36
8	55	45	23	19,43	446,89	529	337,52
Σ	234	179	0,0	0,01	1150,86	1344	1009,68

$$r_1 = 1150,86 / \sqrt{1344 * 1009,68} = 0,9874.$$

Следовательно, коэффициент автокорреляции в результате расчетов равен 0,9874. Это показывает то, что при рассмотрении автокорреляции уже первого порядка данный коэффициент стремится к единице.

Затем необходимо проанализировать вопрос о существовании корреляции в показателях температуры в глубоких слоях торфяника. Для примера выберем следующий ряд (от 17⁰С и до 55⁰ С) [2,4,6,10,11].

На основании источников [4,6,7,10,18], в которых указывается что в том случае, когда температура летом может подняться до 55⁰ С, то вероятность возгорания торфяника будет стремиться к единице. В данных источниках также указывается, что торф начинает гореть при температуре примерно +50⁰ С. В тоже время стоит заметить, что температура воздуха в средней полосе поднимается до 52 – 54⁰ С.

Далее для проверки наличия автокорреляции воспользуемся критерием Дарбина – Уотсена рассмотренном выше [6,7,10,18]. d и коэффициентом корреляции остатков первого порядка:

$$d = 2(1 - r_1).$$

Исходя из критерия Дарбина – Уотсена возможно сделать вывод о том, что автокорреляция всегда будет существовать, в том случае, когда $d \rightarrow 0$ и $r \approx 1$, рассчитаем коэффициенты $d = 2(1 - 0,9874)$, $d = 0,025$, а $r \approx 0,9874$ Это характеризует то, что автокорреляция в данном случае существует [4,6,7,10,11].

Далее необходимо рассмотреть поведение торфяника при различных показаниях температуры. Вначале определим, что каждому значению температуры зададим свою вероятность. При этом отметим, что минимальная вероятность возгорания будет соответствовать минимальному значению температуры и соответственно максимальная температура внутри торфяника будет иметь максимальную вероятность.

Например, (вероятность 1,0 будет соответствовать температуре 55⁰С, вероятность 0,9 – 49⁰ С и т.д. до 17⁰С вероятность 0,3. С учетом этого график зависимости вероятности возгорания от температуры внутри торфяника будет иметь вид.

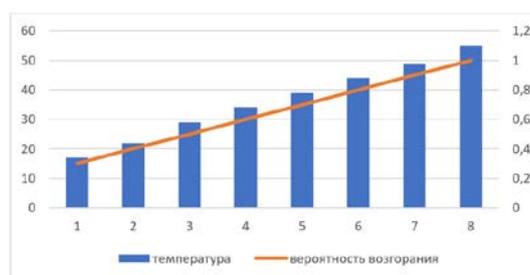


График возможного возгорания торфяника (вероятность возгорания от температуры)

Вывод: в начале статьи было показано, что с каждым годом, количество ЧС природного характера не уменьшается, а наоборот возрастает. Количество пожаров, особенно торфяных, с учетом их цикличности также увеличивается.

Рассмотренный в статье вопрос о существовании автокорреляции температуры внутри торфяника показывает, что выбранный ими температурный ряд имеет явную тенденцию. Данный факт также подтверждается и критерий Дарбина–Уотсена.

Список литературы

1. Чрезвычайные ситуации природного характера. Официальный сайт Прекрасный мир. <https://prekrasnij-mir.ru/chrezvychaynyie-situatsii-prirodnogo-haraktera>. (дата обращения 08.08.2023)
2. Государственный доклад «О состоянии защиты территорий РФ от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в (2018, 2019, 2020) годах.
3. Концептуальные Основы Государственной Стратегии Снижения Рисков и Смягчения Последствий Чрезвычайных Ситуаций / Харченко Сергей Григорьевич; А.А. Прохожев и др. Москва: ИЛ. 2012. 643 с.

4. Баканов М.О., Тараканов Д.В. Дистанционный мониторинг техногенных пожаров и чрезвычайных ситуаций // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018 № 1(373). С. 173-177. EDN XRGBUT.
5. Концептуальные Основы Государственной Стратегии Снижения Рисков и Смягчения Последствий Чрезвычайных Ситуаций / Харченко Сергей Григорьевич; А. А. Прохожев и др. Москва: ИЛ, 2012. 643 с.
6. Зверев А.П., Рыбалко И.П., Дерканосов М.А. Программное средство для определения вероятности возгорания торфа. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2019662119 от 17 сентября 2019 г.
7. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозиты. под. ред. Хорошавина Л.Б. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. 256 с
8. Зверев А.П., Зверев В.А. Способ обнаружения возгорания торфяников. Авторское свидетельство на изобретение № 2744436 от 30.09.2019.
9. Многомерный статистический анализ. В 2 ч. Ч. 1 / В.М. Гаврилов [и др.]. М.: МАДИ, 2004.
10. Эконометрика / И.И. Елисеева [и др.]. М.: Финансы и статистика, 2005. 248 с.
11. Артамонов В.С. Экономика и финансы государственной пожарной службы: учеб. пособие / В.С. Артамонов, С.А. Иванов, Н.И. Уткин [и др.]. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2008. 353 с.
12. Юрушкин В.К. Чрезвычайные ситуации. Защита населения и территорий. Кно–Рус. М.: 2013. 368 с.
13. Холщевников В.В. Эвакуация и поведение людей при пожарах: учеб. пособие / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 212 с.
14. Пожарная безопасность: учеб. Для вузов / Л.А. В. П.Соломин, О. Н. Русак [и др.]. М.: Высш. шк, 2013. 223 с.
15. Теория горения и взрыва: учебник и практикум / О. Г. Казаков [и др.]; под общ. ред. А. В. Тотая, О. Г. Казакова; 2-е изд., перераб., доп. М.: Издательство Юрайт, 2014. 295 с.
16. Fires in waste facilities: Challenges and solutions from a Scandinavian perspective. RagneFjellgaard Mikalsen, Anders Lönnermark, Karin Glansberg, Margaret McNamee, Karolina Storesund.
17. Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management. Jing Xin, Chongfu Huang.
18. Predictive modeling of wildfires: A new dataset and machine learning approach. Younes Oulad Sayad, Hajar Mousannif, Hassan Al Moatassime.

Зверев Алексей Петрович, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, moizver62@mail.ru, Россия, Москва, ФГБУ ВНИИ ГО ЧС Россия,

Баринов Александр Васильевич, д-р. техн. наук, профессор, barinov.academy@yandex.ru, Россия, Химки, АГЗ МЧС России

VERIFICATION OF THE PEAT BOG IGNITION METHOD BASED ON THE DARBIN–WATSEN CRITERION

A.P. Zverev, A.V. Barinov

This article discusses the use of a time series to determine the possible ignition of peat bogs. The article analyzes the temperature series and shows whether autocorrelation will occur at the selected temperature or not. If the autocorrelation coefficient of the first order turned out to be quite high, then we can say with a high degree of confidence that the series under study has a clear tendency. This fact is confirmed by the Darbin–Watsen criterion.

Key words: peat bogs, time series, autocorrelation function, temperature inside the peat bog, autocorrelation coefficient, Darbin–Watsen criterion.

Zverev Alexey Petrovich, candidate of technical sciences, docent, leading researcher. co-worker. moizver62@mail.ru, Russia, Moscow, Federal State Budgetary Research Institute of Emergency Situations of Russia,

Barinov Alexander Vasilyevich, doctor of technical sciences, professor, barinov.academy@yandex.ru, Russia, Khimki, AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia

КОСМИЧЕСКИЙ АТОМНЫЙ ПАРУС

А.С. Иванов, Г.Э. Лазаренко, И.Л. Шкарупа, И.К. Устинов

В расчетной программе на основе метода Монте-Карло была построена физическая модель предлагаемой реакторной установки, в результате моделирования и расчетов в программных комплексах, была достигнута критичность двигателя-реактора. Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики – ядерный ракетный двигатель на осколках делений обеспечивает удельный импульс, существенно превышающий таковой для химических ракетных двигателей. Эмиттер осколков деления состоит из поглощающей подложки с одной стороны и покрытой высокообогащенным делящимся веществом с другой, такая конфигурация позволяет собирать воздействие осколков деления направлено, тем самым создает тягу, и позволяет использовать реактор как ракетный двигатель.

Ключевые слова: ядерный космический двигатель, осколки деления, плоская активная зона, тяга двигателя.

В данной статье рассмотрена возможность введение нового типа космического двигателя, который использует хорошо изученные физические принципы ядерного деления для создания направленной тяги.

В процессе деления ядер тяжелых делящихся элементов, будь то вынужденное или спонтанное, образуются продукты распада, которые представляют интерес в контексте осколков делений. Осколки делений представляют собой тяжелые ядра атомов, возникшие в результате ядерной реакции деления. Они интересны тем, что при общем энерговыделении деления ядра - 200 МэВ, осколки делений вносят значительный вклад около 170 МэВ. Благодаря высокой энергии и большой массе, эти частицы обладают высокой кинетической энергией, что делает их потенциальным источником тяги при создании высокоэффективного космического двигателя.

Для того чтобы осколки делений создавали направленную тягу, необходимо, чтобы продукты деления передавали свою энергию только в заданном направлении. В реальности это представляет сложность, поскольку осколки не имеют заданного направления распространения, и в случае большого числа делений, их распределение будет равномерным по сфере. Благодаря тому, что осколки являются ядрами, а не атомами, возможно управлять направлением движения потока осколков с помощью электромагнитного поля. Этот вариант конструкции не рассматривается в данной статье, так как реально его очень сложно воплотить.

Осколки делений являются положительно заряженными тяжелыми ядрами, и это приводит к их низкой проникающей способности. С целью предотвращения задержки осколков в материале, в котором они образуются, предлагается создать очень низкую плотность делящейся среды, либо создать активную зону достаточно тонкой, чтобы осколки делений могли свободно проходить сквозь нее. Этот вариант рассмотрен в данной статье (см. рисунок 1).

Если создать рабочую поверхность толщиной около 5 микрон и размещения с одной стороны подложки для поглощения осколков, а с другой стороны - пустоты, получается, что осколки будут поглощаться только в полусфере распространения [1].

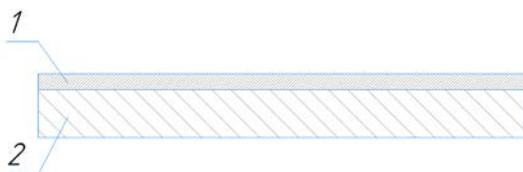


Рис. 1. Выбранный вариант конструкции: 1 - слой делящегося вещества; 2 - поглощающая подложка-источник: [2]

При поглощении нейтрона делящимся веществом с высокой вероятностью происходит реакция деления. В результате реакции образуются осколки, которые разлетаются в разных направлениях. Если рассмотреть большое количество реакций, то разлет осколков деления будет происходить равномерно по сфере. Если одна полусфера поглощает осколки, а вторая обращена к вакууму, то создается тяга.

Нужно найти «среднюю тягу» на одно деление. Для этого из графика можно найти вероятности выхода осколков делений (рисунок 2) [3].

В случае реакции деления, будут получаться ядра с разной массой, в результате реакций будут выделяться по два нейтрона. В расчёте не учитывались осколки деления с вероятностью выхода которых менее 0,01%.

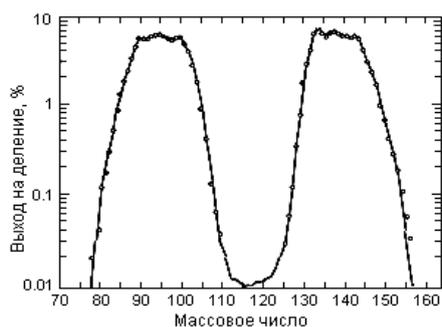
Полученные значения приведены в таблице 1.

У разных пар будет получаться разная кинетическая энергия, ниже приведена зависимость от отношения масс легкого и тяжелого ядра при делении тепловыми нейтронами в случае деления урана см. рисунок 3. Отношение масс пар осколков будет изменяться от 1,1 до 1,9, почти 90% пар будут иметь отношение масс от 1,2 до 1,6, поэтому будет считаться что средняя кинетическая энергия осколков делений будет примерно равна 170 МэВ.

По вертикали суммарная кинетическая энергия осколков в МэВ, по горизонтали – отношение масс тяжелого и легкого осколков. Источник: [4]

Для получения «среднего импульса за одно деление» нужно рассчитать импульсы пар делений с учетом вероятностей их образования. Продукты делений в момент рождения обладают одинаковым импульсом, но разными кинетическими энергиями. Кинетическую энергию отдельного осколка можно найти, если воспользоваться соотношением:

$$\frac{E_{\text{л}}}{E_{\text{т}}} = \frac{M_{\text{т}}}{M_{\text{л}}} \quad (1)$$



Массовое число выражено в а.е.м. Источник: [3]
 Рис. 2. Вероятность выхода осколков деления по массе

Таблица 1

Список пар и вероятности их образования

Масса л.я.	Масса т.я.	Вероятность	Масса л.я.	Масса т.я.	Вероятность
80	153	0,0015	94	139	0,065
81	152	0,002	95	138	0,07
82	151	0,0035	96	137	0,065
83	150	0,0055	97	136	0,06
84	149	0,01	98	135	0,055
85	148	0,015	99	134	0,06
86	147	0,02	100	133	0,06
87	146	0,025	101	132	0,05
88	145	0,035	102	131	0,04
89	144	0,05	103	130	0,03
90	143	0,06	104	129	0,018
91	142	0,06	105	128	0,01
92	141	0,06	106	127	0,005
93	140	0,06	107	126	0,0015

Масса тяжелых ядер (т.я.) и легких ядер (л.я.) выражена в а.е.м, вероятность выражена в долях.

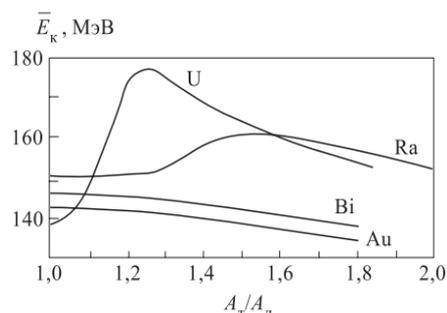


Рис. 3. Зависимость средней кинетической энергии парных осколков делений от их масс

Для каждого осколка:

$$E_{\text{т}} = \frac{E \cdot M_{\text{л}}}{M_{\text{т}} + M_{\text{л}}} \quad (2)$$

$$E_{\text{л}} = E - E_{\text{т}} \quad (3)$$

где $E_{\text{л}}$, $M_{\text{л}}$ и $E_{\text{т}}$, $M_{\text{т}}$ кинетические энергии и массы легкого и тяжелого осколка соответственно; E — суммарная кинетическая энергия ядер, получаемых в процессе деления.

Используем связь кинетической энергии с импульсом:

$$E_k = \frac{p^2}{2m} \quad (4)$$

Искомый импульс осколка:

$$p = \sqrt{2E_k m} \quad (5)$$

Для расчета итоговой тяги нужно найти парциальные тяги. Затем, можно и рассчитать среднюю силу воздействия осколков на одно деление. Для расчета парциальных значений было взято: миллион реакций — это количество всех реакций, взятых за единичный промежуток времени, и, если известна вероятность появления пар, то можно рассчитать количество парциальный реакций.

В случае миллиона реакций:

$$p_M = \sum (p_{\text{лн}} + p_{\text{тн}}) N_n \quad (6)$$

где «N» это количество реакций для определенной пары. $p_M = 4,5 \cdot 10^{-12} \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}}$ на миллион реакций. Средний импульс осколков в реакции деления одного атома:

$$p = \frac{F_M}{10^6} \quad (7)$$

$$p = 4,5 * 10^{-18} \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Было получено: средний импульс, который переносит один осколок деления. Конструкция рабочей поверхности выглядит как плоскость (рисунок 4), следовательно примерно половина продуктов распада будут поглощаться, не давая никакой тяги. То есть, чтобы получить заданную тягу, нужно провести реакций в два раза больше, если проводить расчеты тяги относительно количества реакций делений:

$$F_T = \frac{FN}{2} * \sum \frac{\cos n}{n} \quad (8)$$

Осколки делений испускаются во все стороны, в случае, когда количество реакций велико, распределяться по пространству они будут равномерно. В этом случае необходимо умножать на дополнительный множитель $\sum \frac{\cos n}{n}$, это константа. Этот множитель необходим для расчетов, он равняется 0,635102.

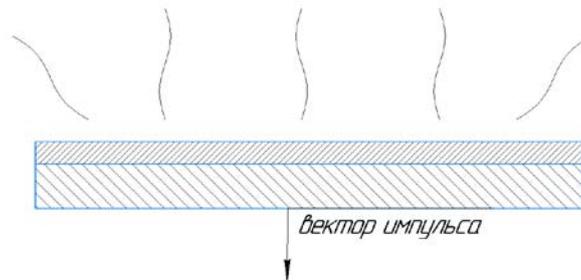


Рис. 4. Схема формирования импульса

Например, для того чтобы м^2 рабочей поверхности давал тягу 0,5 мН, нужно $2,2 * 10^{14}$ реакций деления в секунду.

На основе уже изложенных данных возможно создать одну из моделей, которая в своей работе могла бы использовать значения, полученные выше. Такая реализация условно называется «плоское исполнение», потому что все элементы эмиттера осколков деления находятся на одной плоскости. У такого варианта есть явно видные преимущества:

- 1) Простота изготовления
- 2) Максимально достижимые характеристики
- 3) Высокая эффективность применения осколков деления

Но также есть очевидные недостатки:

- 1) Невозможность достижения критичности
- 2) Высокие требования к источнику нейтронов

На основе описанного физического процесса можно создать работающие конструкции, в этой работе описано два варианта конструкции.

Описанные выше параметры относятся к идеальной ситуации, где возможно достичь максимального вылета осколков деления. Это достижимо при использовании плоской рабочей поверхности с тонким напылением из делящегося вещества. В таком случае для достижения заданной тяги требуется рабочая поверхность, превышающая один квадратный метр. Для расчёта была выбрана площадь в 150 м^2 для достижения конкурентных характеристик с другими двигателями малой тяги. Структура рабочей поверхности представлена на рисунках 5 и 6.

В центре такого диска должен располагаться точечный источник нейтронов, который будет обеспечивать реакции деления на рабочей поверхности. Однако, такая конструкция имеет свои недостатки. Для обеспечения постоянной тяги необходимо постоянное количество реакций. Реакции возможны только под воздействием потока нейтронов, а плоская поверхность относительно источника нейтронов находится на «ребре». В результате, только незначительное количество нейтронов из источника используются в реакции на рабочей поверхности, остальные либо уходят в вакуум, либо вызывают нагрев.

При выбранной площади суммарная тяга двигателя равна 0,05Н. Источник: [5].

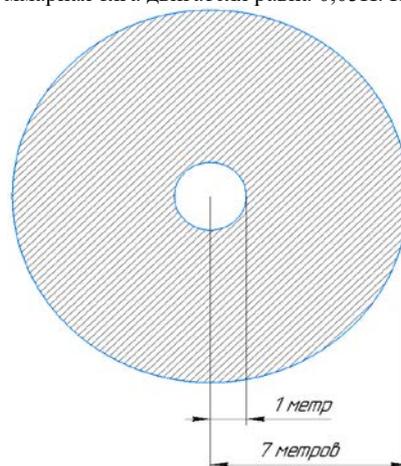


Рис. 5. Рабочая поверхность

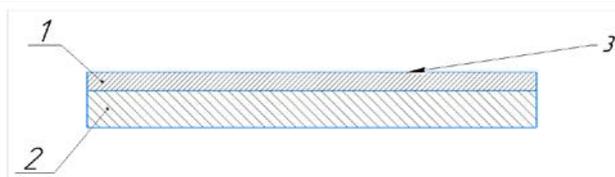
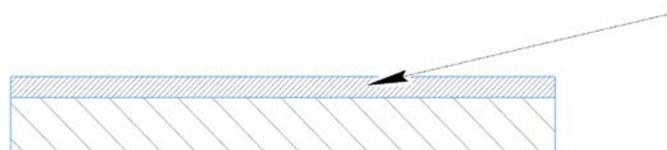


Рис. 6. Разрез рабочей поверхности: 1 — слой делящегося вещества, 2 — поглощающая подложка, 3 — направление падения нейтронов от источника нейтронов

Из-за очень небольшого слоя делящегося вещества самоподдерживающаяся реакция в такой «плоской» конструкции невозможна, и её вклад в общее энерговыделение будет ничтожно малым. При проведении расчётов получено, что для нормальной работы двигателя необходим реактор мощностью около 800 МВт, при этом энерговыделение рабочей поверхности составит всего 300 кВт.

Реализация с эффективным использованием осколков деления в зоне рабочей поверхности подобной конструкции связана с невероятными сложностями. Такой двигатель требует источник нейтронов мощностью, сравнимой с промышленным реактором. В космических условиях охлаждение такой установки будет невозможным, и системы, обеспечивающие работоспособность всей сборки, будут иметь огромную массу.

Можно создать конфигурацию рабочей поверхности так, чтобы она имела значимый вклад в общее энерговыделение в сравнении со всеми источниками энергии. В вышеописанной конструкции было обозначена проблема, что вклад рабочей поверхности в энерговыделение, в случае плоского исполнения, чрезвычайно низкий. Когда нейтрон попадает в рабочую зону у него чрезвычайно низкий шанс на осуществление реакции деления (рисунок 7). Можно увеличить толщину делящегося материала так, чтобы – либо нейтрон взаимодействовал со слоем, но в таком случае угол падения нейтрона невероятно маленький, а соответственно, чрезвычайно высокие требования для источника нейтронов.



Стрелкой указана траектория падения налетающего нейтрона
Рис. 7. Плоское исполнение

Дополнительным недостатком является то, что в данном случае между источником нейтронов и рабочей поверхностью невозможно создать прослойку из замедлителя.

Вторым вариантом является «ломаная фигура» (рисунок 8). В этом случае геометрические параметры могут значительно изменяться в зависимости от используемых материалов.

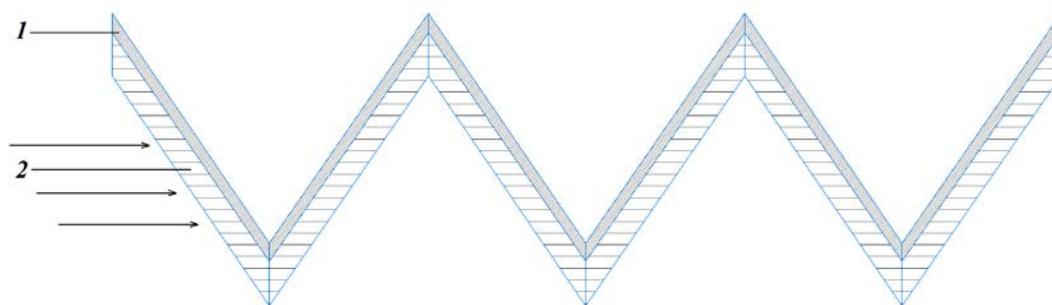


Рис. 8. «Ломаная фигура»: 1 — делящийся слой толщиной 5 мкм, 2 — поглощающая подложка, неделящийся слой воспроизводства, замедлитель. Стрелками указана траектория падения нейтронов

Из рисунка видно, что нейтрон может проникнуть через несколько частей ломаной фигуры, но все равно произойдет реакция деления. В данном случае реализации есть возможность использовать подложку для улучшения характеристик или количества нейтронов. В данной работе активно применялась реакция $(n,2n)$ на бериллии, и расчеты в программах на системе Монте-Карло показали эффективность и работоспособность такой концепции. Однако, в качестве подложки также можно использовать консервативный замедлитель или другие материалы. Это даст большую свободу выбора и возможность работать с разными материалами.

Отсутствие требования к высокой точности нейтронного потока от источника тоже является плюсом, нейтрон может в такую конструкцию влетать по достаточно свободной траектории.

Недостаток в том, что «ломание» рабочей поверхности снижает эффективность осколков деления как источника тяги. Часть осколков, которые в первом варианте конструкции могли бы создать полезную тягу, во втором варианте будут сталкиваться с другими частями «ломаной фигуры».

Несмотря на снижение эффективности, «ломаная фигура» может обеспечить сборку, которая имеет приемлемую тягу и незначительное, по сравнению с плоским вариантом, тепловыделение.

В данной работе ставилась задача создания модели максимально возможного размера с использованием расчетной программы на методе Монте-Карло. Ограничение размера сборки было обусловлено ограниченным числом ячеек, доступных для расчета см. рис. 9.

Поскольку конструкция состоит из подобных, но неодинаковых элементов, при удалении ограничения по количеству ячеек можно моделировать сборки неограниченных размеров.

Так как конструкция реактора является многозонной, причем некоторые зоны имеют сложную геометрию, расчет характеристик сборки возможен только с помощью специализированных расчетных программ. Попытка ручного расчета приведет только к приближенным результатам.

Из рисунка 9 видно, что внешний вид рабочей зоны выглядит как фигура, полученная вращением сечения «ломаной фигуры».

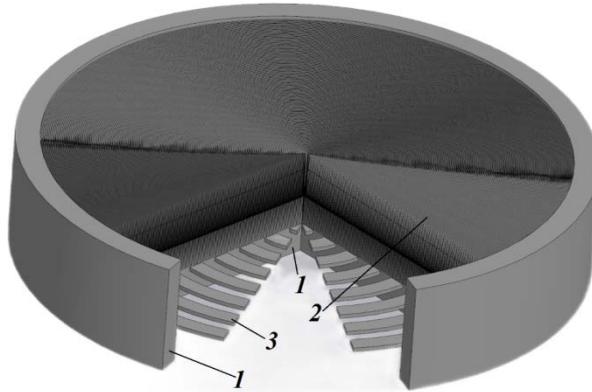


Рис. 9. Двигатель на радиационной эмиссии осколков деления (РЭОД), разрез:
 1 — отражатель, 2 — рабочая поверхность, 3 — компенсатор недостатка реактивности (бустер)

Исходная задача состояла в обеспечении самоподдерживающейся реакции деления только с использованием рабочей зоны. Однако за отведенное время не удалось достичь самоподдерживающейся реакции, максимальная достигнутая реактивность составляла 0,4. Поэтому было решено внедрить в сборку конструкцию компенсирующую недостаток реактивности, она была названа - бустер.

Бустер см. рис. 10 состоит из нескольких колец, выполненных из делящегося вещества. Для данной теоретической задачи были выбраны оптимальные материалы, и поэтому бустер был собран из урана-233, вкпе с рабочей поверхностью итоговая реактивность сборки была доведена до 1.

Кольца могут быть подключены к сервоприводам, что позволяет управлять их взаимным положением относительно друг друга и рабочей поверхности. Это не только позволяет контролировать саму сборку, но и управлять зоной с наибольшей плотностью нейтронов.

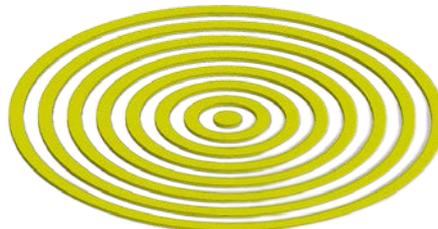


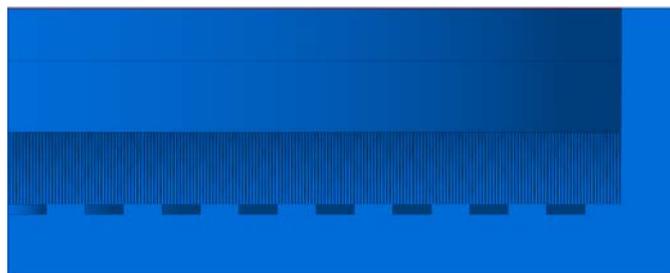
Рис. 10. Бустер

Каждое кольцо имеет различные радиусы. Толщина каждого кольца – 1 см, ширина 4 см, промежуток между кольцами – 4 см. Радиус центрального диска – 4 см

Выбор такую конструкции выбран по нескольким причинам:

- 1) Возможность управления всей сборкой.
- 3) По сравнению с тонким диском, кольцо будет менее подвержено тепловой деформации.
- 4) В случае необходимости, в промежутках между кольцами можно помещать приборы..

Отражатель – необходимая деталь в случае, если нужно создать сборку такого типа. Отражатель состоит из бериллия и имеет сложную форму. Есть вырезы, в которые вставляется бустер, а также «пазы», в которые «вставляются» рабочая зона см. рис. 11.



Видны прямоугольные вырезы под бустер, выше – пазы для рабочей зоны.
 Рис. 11. Разрез отражателя

В конструкции реактора важно учитывать массу различных элементов. Наибольшая масса относится к отражателю и составляет около 400 кг. Бустер и рабочая зона имеют примерно одинаковую массу, примерно 100 кг каждая. Учёт массы является важным фактором при проектировании и определении требований к структурным компонентам и системе поддержки.

Рабочая поверхность варианта двигателя на РЭОД подобна тому, что изображено на рисунке 8, но представляет собой фигуру вращения см. рис. 12.

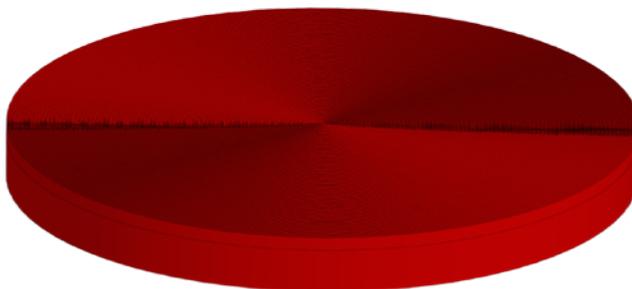


Рис. 12. Рабочая поверхность

В качестве материала делящегося слоя были выбраны высокоактивные изотопы — Нептуний-236 или Америций-242.

При радиусе рабочей поверхности равном 64 см, вклад в общую реактивность составила 40%. Дальнейшее увеличение радиуса может привести к тому, что вклад в реактивность у такой зоны будет 100%, и вся энерговыделяющая зона станет полезной.

Главной определяющей возможностью двигателя такой конструкции является энерговыделение реактора, особенно в его «рабочей зоне». Как уже упоминалось ранее, энерговыделение в бустере составляет около 60%, а в рабочей зоне - около 40%.

Необходимо было рассчитать параметры осколков деления. Из неизвестных значений представляющих интерес – только среднее значение импульса на один осколок и равен он: $p = 4,5 * 10^{-18} \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}}$, с помощью полученной характеристики можно рассчитывать воздействие флюенса осколков деления, а отсюда и параметры предлагаемой конструкции ядерного двигателя.

С учетом полученных выше значений была создана физическая модель реактора, проведены расчёты и получены теоретические характеристики изучаемого ядерного двигателя. Его тяга равняется $F = 0,026 \text{ Н}$, масса — 600 кг, суммарное энерговыделение — 20,3 МВт, а время выгорания рабочей зоны — 3,6 лет, удельный импульс двигателя – 230000с. Масса аппарата с полезной нагрузкой примерно 630 кг. Скорость космического аппарата после получения всей энергии будет увеличена на 4,7 км/с. Стоит учитывать, что такие параметры будут достигнуты в случае, если не будет использована система обновления делящегося слоя в рабочей зоне. В случае создания системы «дозаправки», возможности двигателя могут быть серьезно расширены.

Список литературы

1. Актуальные проблемы ядерной энергетики // Проблемы ядерно-лазерной энергетики и способы их решения П.П. Дьяченко, А.В. Зродников, О.Ф. Кухарчук, А.А. Суворов АО «ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского». ВНИИТФ. Снежинск, 2003. С. 20.
2. Конструкция плоского исполнения рабочей поверхности // Будущее атомной энергетики, XVII Международная научно-практическая конференция, тезисы докладов. Обнинск 2021. С.101-102.
3. Белозерский Г.Н. Вероятность выхода осколков деления. Радиационная экология. 2006.
5. Вид рабочей поверхности большой площади // Труды 64-й Всероссийской научной конференции МФТИ. Аэрокосмические технологии. М., 2021. С. 222-223.
4. Зависимость средней кинетической энергии парных осколков делений от их масс. [Электронный ресурс] URL: <http://www1.jinr.ru/Archive/PePan/v-32-2/v-32-2-3.pdf> (дата посещения: 10.12.2023).

Арсений Сергеевич Иванов, инженер-исследователь, mr.arseny.ivanov@mail.ru, Россия, Обнинск, АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» им. А.И.Лейпунского,

Лазаренко Георгий Эрикович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, mr.arseny.ivanov@mail.ru, Россия, Обнинск, АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» им. А.И.Лейпунского,

Шкарупа Игорь Леонидович, канд. техн. наук, руководитель группы, shil2018igor@yandex.ru, Россия, Обнинск, АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» им. А.И.Лейпунского,

Устинов Игорь Константинович, канд. техн. наук, доцент, ustinovigorkir@yandex.ru, Россия, Калуга, Калужского филиала Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана

SPACE ATOMIC SAIL

A.S. Ivanov, G. E. Lazarenko, I.L. Shkarupa, I.K. Ustinov

In the calculation program based on the Monte Carlo method, a physical model of the proposed reactor plant was built, as a result of modeling and calculations in software complexes, the criticality of the reactor engine was achieved.

The main design, technological and technical and operational characteristics - a nuclear rocket engine on fission fragments provides a specific impulse significantly exceeding that for chemical rocket engines. The emitter of fission fragments consists of an absorbing substrate on the one hand and coated with highly enriched fissile material on the other, this configuration allows you to collect the impact of fission fragments directed, thereby creating thrust, and allows you to use the reactor as a rocket engine.

Key words: nuclear space engine, fission fragments, flat core, engine thrust.

Ivanov Arseny Sergeevich, research engineer, mr.arseny.ivanov@mail.ru, Russia, Obninsk, JSC "GNC RF-FEI" named after A.I.Leipunsky,

Lazarenko Georgy Erikovich, candidate of technical sciences, docent, mr.arseny.ivanov@mail.ru, Russia, Obninsk, JSC "GNC RF-FEI" named after A.I.Leipunsky,

Shkarupa Igor Leonidovich, candidate of technical sciences, head of the group, shil2018igor@vandex.ru, Russia, Obninsk, JSC "GNC RF-FEI" named after A.I.Leipunsky,

Ustinov Igor Konstantinovich, candidate of technical sciences, docent, ustinovigorkir@vandex.ru, Russia, Kaluga, Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University

УДК 001.891.3

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-219-220

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.В. Милашевский

В статье на основе анализа научно-теоретических трудов актуализирована проблема оценки надежности организационно-технических систем специального назначения. Разработана динамическая модель изменения состояния таких систем, позволяющая проследить взаимосвязь и взаимообусловленность частных процессов, обеспечивающих реализацию целевой функции системы. Обобщены и представлены варианты расчетных соотношений, отражающих эволюцию подходов к анализу надежности, позволяющих при выбранных ограничениях и допущениях оценить общесистемный показатель надежности, в том числе учитывающий человеческий фактор и техническую надежность средств связи.

Ключевые слова: надежность, организационно-техническая система, система (средство) связи специального назначения, этапы эксплуатации, динамическая модель.

Проблема обеспечения (повышения) надежности остается одной из основных задач, стоящих перед отечественными и зарубежными учеными, инженерами, техниками и специалистами, занятыми разработкой, производством и эксплуатацией современных технических средств и систем.

С каждым годом происходит кратное увеличение количества и сложности решаемых задач. При этом в конкурентной среде повышается степень ответственности за их выполнение, а принятие решений на основе больших массивов информации должно происходить по оптимальному циклу с минимальными затратами времени. Это приводит к существенному усложнению вычислительных процессов, и, в результате, вынужденному комплексированию технических средств и систем, применяемых на ответственных направлениях. Рациональное управление большим количеством современных высокотехнологичных многофункциональных технических средств и систем требует диктует необходимость организации эффективной системы автоматизации, техническую основу которой составляют системы связи различного назначения.

Повсеместное применение сложных технических устройств с преобладанием элементной базы зарубежного производства приводит к тому, что вопрос обеспечения их надежности при возникновении отказов в условиях угроз и рисков антагонистического конфликта (особенно актуально для систем связи специального назначения) может поставить под удар выполнение задач не только отдельными подразделениями и организациями, но и целыми министерствами и ведомствами. Кроме того, не смотря на высокую степень автоматизации процессов управления ключевую обеспечивающую роль человека (с его индивидуальными психо-физиологическими особенностями) при эксплуатации и обслуживании технических средств до сих пор полностью исключить нельзя.

Таким образом, необходимость выбора и обоснования параметров при оценке надежности сложных организационно-технических систем связи специального назначения, с учетом влияния человеческого фактора, условий антагонистического конфликта, в которых может протекать эксплуатация технических средств, равно как и отсутствие актуальных исчерпывающих научно-теоретических трудов, посвященных указанной проблематике, во многом и обусловили актуальность исследования и большой интерес к теоретическим основам ее разрешения.

Одним из первых трудов, освещающих подход количественной оценке надежности, была работа [1] В. И. Сифорова. Кроме того, исследованием надежности технических средств занимались Ш. Л. Бебиашвили [2, 3], М. А. Сеница [3], Я. Б. Шора [4], И. М. Маликов, А. М. Половко [5], Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев [6] и др. Организационные аспекты обеспечения надежности подробно рассмотрены в работах Я. М. Сорина [7]. Фундаментальный анализ вопросов оценки надежности радиоэлектронных схем проведен в статье [8] Н. Г. Бруевича. Актуальными вопросами обеспечения надежности современных структурно-сложных систем (в том числе систем управления) посвящены труды И. А. Рябинина, Г. Н. Черкесова [9, 10], А. С. Можаяева [11], В. Ф. Комаровича, В. Н. Сосунова [12], Б. Я. Дудника [13] и др.

Проведенный анализ трудов свидетельствует о том, что в теоретических работах [9–12, 14, 15], посвященных исследованию надежности структурно-сложных систем, содержится большое разнообразие определений ключевого понятия «надежность», которые, с учетом исследуемой специфики, могут быть обобщены и сведены к следующему определению: «надежность технических средств – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции на заданных этапах, условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования». Несложно заметить, что определение описывает свойство с наиболее общих позиций, что указывает на то, что надежность, являясь интегративным свойством, существенно зависит от назначения объекта и условий его эксплуатации и обслуживания. Такая формулировка дает исследователю достаточную свободу для выбора показателей, с помощью которых можно количественно оценить исследуемое свойство.

Чтобы учесть при определении надежности специфику назначения систем связи специального назначения и условий их применения, необходимо ввести ряд ограничений и допущений. Так, под временем функционирования технических средств связи специального назначения следует понимать отрезок времени T , характеризующий время выполнения требуемой задачи, либо продолжительность этапа антагонистического конфликта, наступающего после подготовки по внезапной команде в течение заданного времени $t_{под}$. Исходным положением средств связи считается дежурство в течение времени t после очередных регламентных работ, а их обслуживанием и эксплуатацией занимается штатный подготовленный персонал [9, 16].

Следует понимать, что на практике средства связи считаются надежным, если они отвечают следующим требованиям [5, 16]:

- 1) безотказная работа технических средств в течение времени, необходимого для выполнения поставленной задачи;
- 2) быстрое и легкое восстановление технических средств силами обслуживающего персонала без срыва выполнения задачи или ошутимого нарушения готовности при дежурстве;
- 3) отсутствие продолжительной, частой и сложной профилактики и длительной подготовки к применению с привлечением большого количества сил и средств, снижающей боевую готовность технических средств и затрудняющей своевременное их применение по предназначению;
- 4) простота в управлении квалифицированным персоналом.

Таким образом, при планировании и организации эксплуатации средств связи специального назначения необходим поиск интегрального показателя надежности, позволяющего комплексно учесть рассмотренные выше свойства и особенности эксплуатации при применении.

Этапы эксплуатации организационно-технических систем связи специального назначения можно схематично изобразить в виде, представленном на рисунке 1.

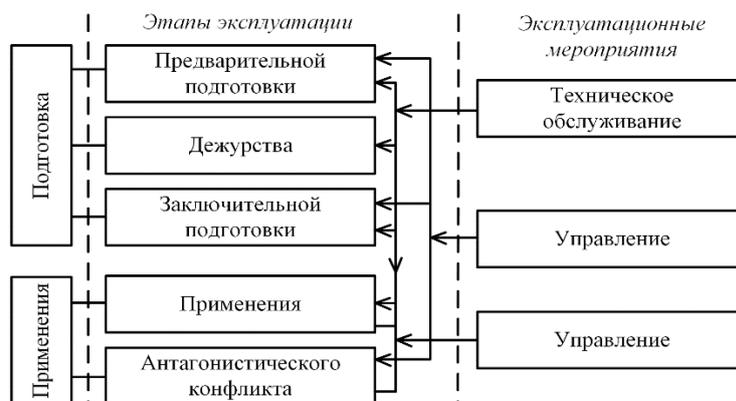


Рис. 1. Взаимосвязь мероприятий и этапов эксплуатации организационно-технических систем связи специального назначения

Декомпозиция мероприятий и этапов на отдельные процессы с учетом логики их взаимосвязи позволила разработать динамическую модель изменения состояния организационно-технической системы связи специального назначения в прогнозируемых условиях эксплуатации (рисунок 2). В ее левой части показаны состояния технических средств и процессов, циклично повторяющихся на этапе дежурства, а в правой – цикл непосредственного применения технических средств в условиях антагонистического конфликта.

В соответствии с логикой изображенных на рисунке 2 процессов после ввода в эксплуатацию и предварительной подготовки технические средства подвергаются испытаниям и профилактике, которые сменяются этапом содержания в готовности. При возникновении отказов после испытаний проводятся восстановление работоспособности, а затем плановая профилактика, призванная обеспечить последующее безотказное функционирование технических средств. Как было отмечено ранее, этап дежурства в заданной готовности является циклическим и может повторяться многократно, однако для перехода к этапу непосредственного применения текущий процесс вынужденно прерывается, и в зависимости от того состояния, в котором он находился до этого, по одному из сценариев (на рисунке обозначены штрих-пунктиром) сменяется этапом заключительной подготовки. При этом, этап заключительной подготовки может протекать как без восстановления работоспособности (если отказы не возникли), так и с их восстановлением: если этап завершился своевременно, то он сменяется логическим циклом процессов непосредственного применения элементов системы связи специального назначения, в противном случае наступает задержка. При возникновении отказов технических средств может проводиться их восстановление, в зависимости от исхода которого отказавшие элементы либо включаются в общий цикл, либо вызывают срыв применения.

Таким образом, реализация целевой функции, состоящей в своевременном, безотказном и безошибочном применении технических средств достижима различными путями и сильно зависит от результата исходов частных процессов каждого этапа, которые в большинстве своем зависят от работы обслуживающего персонала.

С учетом рассмотренных особенностей и в соответствии с общим определением под надежностью технических средств связи специального назначения следует понимать свойство своевременно, безотказно и безошибочно выполнять требуемые функции по обеспечению связи после дежурства в заданной готовности [5, 16]. При переходе к вероятностной трактовке показатель надежности можно определить как вероятность своевременного, безотказного и безошибочного применения технических средств системы связи специального назначения штатным персоналом из произвольного этапа дежурства [16].

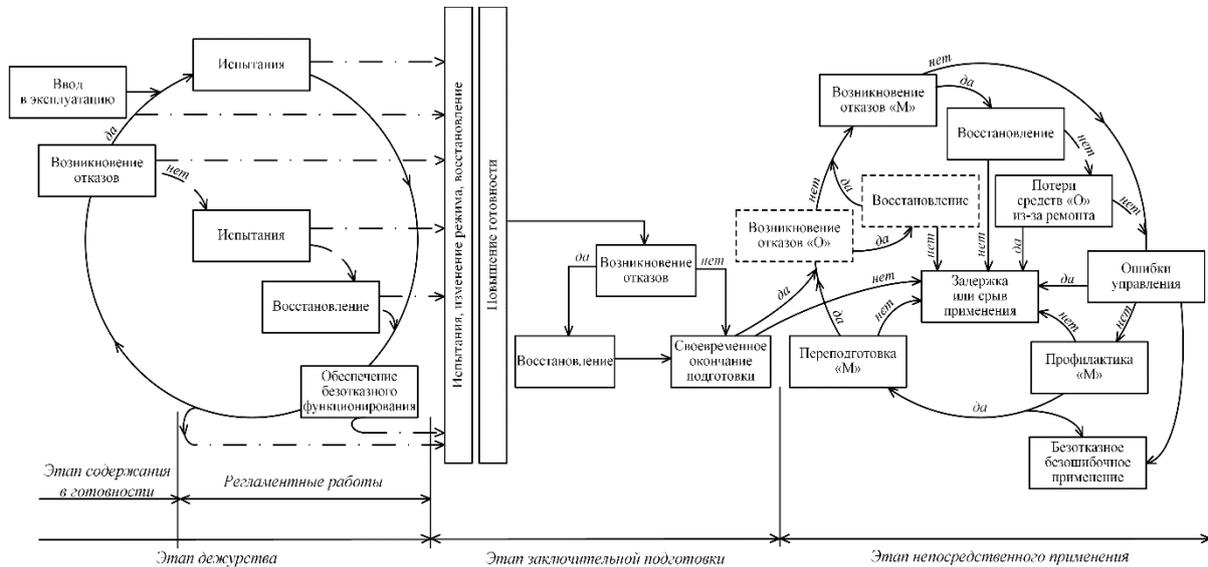


Рис. 2. Динамическая модель изменения состояния организационно-технической системы связи специального назначения

Для того, чтобы предусмотреть возможность влияния человеческого фактора на управление сложными техническими системами и их элементами необходимо учесть в показателе надежности ряд дополнительных параметров. Так, помимо отказа технических средств, в организационно-технической системе может произойти биологический отказ оператора, под которым подразумевается событие, состоящее в возникновении болезненных ощущений в организме человека, приводящих к потере им работоспособности или снижению качества выполняемых при эксплуатации манипуляций, и, как следствие, отсутствию возможности реализации необходимых для управления функций даже при нормальных условиях внешней среды. Так, например, в качестве нарушения нормального взаимодействия человека с техническими системами и средствами может выступать неправильное восприятие здоровым оператором информации. Это влечет за собой принятие неверных решений или существенные отклонения от корректной реализации целевой функции, что в свою очередь может привести к невозможности дальнейшего использования технических систем (средств) или снижению эффективности их применения. Такие нарушения работоспособности системы называются ошибками, частота и величина которых существенно зависят от индивидуальных психофизиологических особенностей человека: состояния здоровья, эмоциональной напряженности, стрессоустойчивости, внимательности, степени усталости и т. п.

При неизменных внешних условиях снижению количества ошибок способствует как совершенствование самих технических средств связи (автоматизация процессов применения, создание интуитивно понятного пользовательского интерфейса, рациональное размещение средств отображения и органов управления (коммутации) и т. п.), так и качественным изменением индивидуальных свойств оператора (повышение профессиональной квалификации, тренированности, физической выносливости, психологической устойчивости, создание условий, препятствующих появлению усталости и т. п.).

При определении случайного события, происходящего в организационно-технической системе специального назначения на этапах дежурства и подготовки, являющегося следствием отказа технических систем (средств) связи или биологического отказа (ошибки) оператора, приводящее к невозможности своевременного применения технической системы (средства) связи, будем использовать термин «задержка», а для аналогичного производного случайного события этапа непосредственного применения – «срыв применения» [16].

Взаимосвязь свойств организационно-технической системы, зависящих от отказов технических систем (средств) и биологических отказов (ошибок) оператора, наглядно изображена на рисунке 3.

На рисунке в виде прямоугольников изображены ключевые свойства системы, вертикальной двойной пунктирной линией обозначена граница между характеристиками технических устройств и свойствами обслуживающего персонала в комплексной системе, горизонтальной двойной пунктирной линией – граница между свойствами, определяющими этап дежурства и подготовки, и свойствами, характеризующими этап непосредственного применения. Стрелки указывают на то, с какими событиями связаны производные события и свойства.

Необходимо отметить, что совокупность свойств, представленных на рисунке 3, не сводится к простой их сумме, а обладает эмерджентным свойством, что позволяет комплексно учесть при оценке надежности организационно-технической системы специального назначения как собственные отказы технических систем (средств), так и биологические отказы (ошибки) оператора.

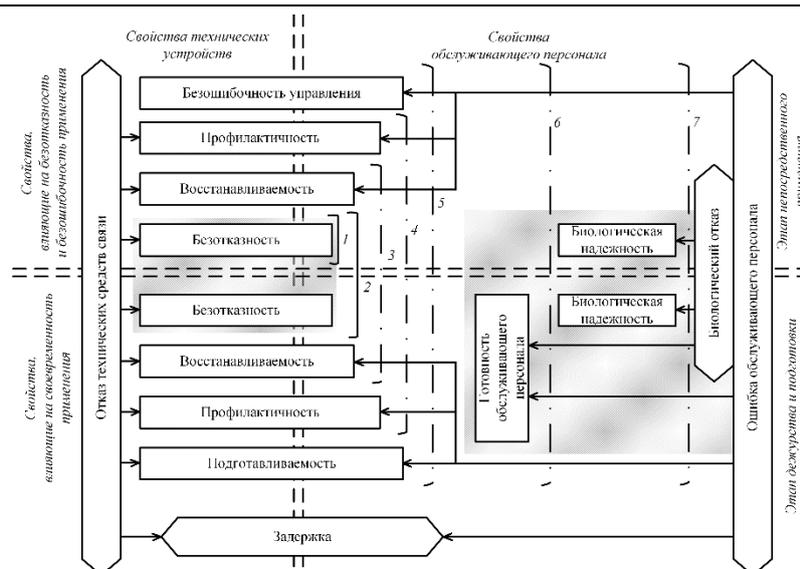


Рис. 3 – Взаимосвязь свойств и событий организационно-технической системы

Для описания свойств, учитывающих особенности функционирования организационно-технических систем специального назначения, в соответствии с [1–5, 12, 16] введем ряд необходимых определений. С целью предупреждения возникновения отказов при эксплуатации систем (средств) связи специального назначения силами обслуживающего персонала с требуемой периодичностью проводятся профилактические работы. Это обстоятельство при определении показателя надежности требует учета профилактичности в качестве самостоятельного свойства организационно-технической системы. По сути, чем выше показатель свойства, тем меньше времени она находится в режиме профилактики, и, как следствие, выше относительная доля времени эксплуатации, в течение которого систему (средство) можно бесперебойно применять или содержать в состоянии требуемой готовности. Снижение показателя профилактичности на этапе дежурства и подготовки может привести к увеличению частоты и продолжительности нахождения технических средств связи в неработоспособном состоянии, иными словами – к снижению технической надежности системы. В то же время из-за частых вынужденных перерывов в эксплуатации на этапе непосредственного применения снижение показателя свойства может отрицательно сказаться на общесистемном показателе.

Вероятность возникновения технических отказов средств связи на этапе дежурства приводит к необходимости их эксплуатации в режиме отличном от рабочего (снижение мощности, работа с применением эквивалента антенны, использование режима дежурного приема и т. п.). Для перевода технических средств в режим нормальной эксплуатации (этап применения) требуется выполнить ряд манипуляций, вероятностно-временные параметры выполнения которых зависят от специфики технических средств (времени выхода на рабочую мощность, возможности автоматизации процессов, необходимости настройки (перестройки) и регулировки аппаратуры и т. д.), равно как и от квалификации и тренированности оператора, выполняющего подготовку. Указанные факторы указывают на необходимость учета в комплексном показателе надежности свойства подготовливаемости [16].

Появление ошибок в режиме непосредственного применения может происходить и при абсолютной в отношении безотказности аппаратуре. В этом случае показатель будет зависеть от квалификации, условий работы и состояния оператора, а также от свойств технических средств: скорости процессов управления, специфики функционирования органов управления и контроля. Свойство, учитывающее совокупность этих факторов, принято называть безошибочностью управления [1, 16].

Возможность своевременного перевода организационно-технической системы специального назначения в состояние непосредственного применения определяется также характером дежурства, способом оповещения, местонахождением и состоянием обслуживающего персонала. Совокупность этих свойств объединяется понятием готовность оператора.

Наконец, в любом режиме проявляется биологическая надежность обслуживающего персонала, характеризующая психо-физиологическими особенностями операторов: физической подготовленностью, действующими нагрузками, условиями питания и т. д.

При решении частных задач оценки надежности сложных организационно-технических систем, в которых рассмотренные выше свойства проявляются частично, необходимо оценивать, какие параметры, с учетом принятых допущений и ограничений, могут существенно повлиять на величину и физический смысл общесистемного показателя надежности и могут быть приняты в качестве исходной посылки.

Рассмотрим несколько вариантов соотношения параметров технических систем (средств) связи и обслуживающего персонала в контексте полноты их учета при выборе и обосновании показателей оценки надежности организационно-технической системы специального назначения.

1. Вариант аппаратурной безотказности применяемых технических систем (средств). В этом случае совокупность рассматриваемых свойств сводится к рассмотрению безотказности на этапе применения, что оправдано лишь для постоянно функционирующих необслуживаемых неуправляемых и неподготавливаемых к эксплуатации систем и средств связи. При этом расчетные показатели учитывают лишь свойства, расположенные левее разграничивающей штрих-пунктирной линии для рассматриваемого варианта (см. рисунок 2).

2. Вариант аппаратурной безотказности. Надежность технических систем полностью определяется процессом возникновения отказов ее элементов. Влияние обслуживающего персонала на этот процесс не учитывается, а восстановление отказавшей аппаратуры не производится. Рассматриваемые свойства сводятся к безотказности тех-

нических средств на этапах дежурства, подготовки и применения. Такой вариант может быть справедлив только для необслуживаемых неуправляемых и неподготавливаемых оператором систем (средств).

3. Вариант восстанавливающего оператора. Оператор влияет на состояние технических систем (средств) связи путем проведения ремонта т. е. устраняет возникающие отказы. Для такого частного случая из всех свойств, связанных с появлением отказов технических средств и ошибок оператора, учитываются только безотказность и восстанавливаемость.

4. Вариант оператора, идеального в смысле готовности и безошибочности управления. Обслуживающий персонал постоянно находится в бодрствующем состоянии на рабочих местах в готовности к началу выполнения необходимых манипуляций при подготовке и на этапе непосредственного применения и не допускает ошибок управления. Этот вариант, в частности, удобен и обоснован для автоматизированных систем управления, функционирующих без вмешательства оператора.

5. Вариант оператора, идеального в смысле готовности. Обслуживающий персонал постоянно находится в бодрствующем состоянии на рабочих местах в готовности выполнить необходимые манипуляции по подготовке системы, однако может допустить ошибки при управлении на этапе непосредственного применения. При таком формулировке задачи предполагается, что обслуживающий персонал способен влиять на все процессы, происходящие в технических системах и ее элементах, и учитывается возможность возникновения ошибок оператора при управлении техническими системами (средствами) в режиме применения.

Учет психо-физиологических особенностей человека, эксплуатирующего технические средства связи, позволяет выделить еще два обобщенных варианта.

6. Вариант биологически надежного оператора. В дополнение к свойствам, описанным в варианте 5, учитывается готовность обслуживающего персонала.

7. Вариант биологически ненадежного оператора. Помимо свойств, представленных в варианте 6, учитывается также биологическая надежность человека.

Выбор того или иного варианта в каждом конкретном случае обусловлен формулировкой частной задачи, решаемой при оценке и обеспечении надежности. Так, например, для учета общих эксплуатационных показателей целесообразно использовать вариант 5, при котором показатели надежности характеризуются вероятностью своевременного, безотказного и безошибочного применения, а для неуправляемых технических систем (средств) связи, функционирующих на этапе непосредственного применения – вариант 4.

Обобщение известных функциональных зависимостей [4–6, 9, 16] для рассмотренных выше вариантов с учетом особенностей организационно-технических систем связи специального назначения позволило получить результирующие расчетные соотношения для оценки показателей исследуемого свойства (представлены в таблице).

Расчетные соотношения для оценки показателей надежности

№ в-та	Расчетное соотношение	Какие процессы учитывает показатель для этапа		
		дежурства	подготовки	применения
1	$P_{пр1} = P_{брп}$	не учитывает	не учитывает	возникновение отказов
2	$P_{пр2} = P_{брд} P_{брзп} P_{брп}$	возникновение отказов		
3	$P_{пр3} = P_{бсд} P_{бсп} P_{фр} ;$ $P_{пр3} = [P_{брд} + (1 - P_{брд}) P_{вп}] P_{брзп} P_{брп}$	возникновение и устранение отказов		
4	$P_{пр4} = \sum_{i=1}^n P_{нзпi} [P_i P_{брд} + (1 - P_{брд}) P_{ни}] \times$ $\times P_{брзп} P_{брп} P_{пп}$	профилактика; возникновение и устранение отказов	подготовка в течении заданного времени; возникновение и устранение отказов	профилактика; возникновение и устранение отказов
5	$P_{пр5} = P_{пр4} P_{бу}$	возможность подготовки в течении заданного времени; возникновение и устранение отказов	подготовка в течении заданного времени; возникновение и устранение отказов	профилактика; возникновение и устранение отказов; ошибки оператора
6	$P_{пр6} = P_{пр5} \sum_{j=1}^m P_{сj} P_{гпj}$	профилактика; возникновение и устранение отказов; готовность оператора	подготовка в течении заданного времени; возникновение и устранение отказов; готовность оператора	профилактики; возникновение и устранение отказов; ошибки оператора
7	$P_{пр7} = P_{пр6} P_{бнд} P_{бнп} P_{бнр}$	профилактика; возникновение и устранение отказов; готовность и биологическая надежность оператора	подготовка в течении заданного времени; возникновение и устранение отказов; готовность и биологическая надежность оператора	профилактики; возникновение и устранение отказов; возможность ошибок оператора

где: $P_{прz}$ – вероятность своевременного, безотказного и безошибочного применения технических систем (средств) связи для соответствующего z-варианта; $P_{сj}$ – вероятность совпадения момента команды с j-м из m состояний готовности оператора; $P_{гпj}$ – вероятность своевременной готовности оператора из j-го исходного состояния к началу подготовки оборудования; P_p – вероятность безотказной работы технических систем (средств) связи на этапе

непосредственного применения; $P_{брд}$ – вероятность безотказной работы технических средств (средств) связи на этапе дежурства; $P_{брзн}$ – вероятность безотказной работы системы на этапе заключительной подготовки; $P_{бсд}$ – вероятность безотказного состояния системы к моменту начала этапа заключительной подготовки; $P_{бсп}$ – вероятность безотказного состояния системы во время этапа заключительной подготовки; $P_{фр}$ – вероятность нормального функционирования технических средств с учетом восстановления работоспособности; $P_{вп}$ – вероятность восстановления работоспособности при отказе системы на этапе заключительной подготовки; $P_{нзн}$ – вероятность начала этапа заключительной подготовки из планового состояния этапа дежурства; $P_{пн}$ – вероятность проведения профилактических работ в режиме применения; A_i и $A_{иi}$ – вероятность выполнения операции подготовки исправной или отказавшей системы соответственно из i -го состояния этапа дежурства в течение времени $t_{под}$; $P_{бу}$ – вероятность безошибочного управления техническими системами (средствами) связи; $P_{бнд}$ – вероятность биологической надежности оператора на этапе дежурства; $P_{бнп}$ – вероятность биологической надежности оператора на этапе заключительной подготовки; $P_{бнр}$ – вероятность биологической надежности оператора на этапе непосредственного применения.

Рисунок 3 и расчетные соотношения, представленные в таблице, свидетельствуют об очевидном отсутствии необходимости определения единого показателя надежности оператора. Влияние обслуживающего персонала на надежность системы с одной стороны повышает надежность за счет появления восстанавливаемости, с другой – снижает ее из-за ошибок, возникающих при подготовке и управлении технической системой, либо надежность технических систем (средств) повышается за счет проведения оператором профилактических работ, но затраты времени на их проведение снижают готовность средств, которая с позиций общей теории надежности также является составляющей общесистемного свойства, и т. д.

В рамках рассмотренных вариантов знание частных показателей, учитывающих параметры технических систем (средств) и свойства оператора, позволяет рассчитывать общие показатели надежности организационно-технических систем. Влияние же человеческого фактора на изменение показателя надежности сложной системы в этом случае можно оценить коэффициентом полезности [16]:

$$\eta_5 = \frac{1 - P_{пр2}}{1 - P_{пр5}},$$

где $P_{пр2}$, $P_{пр5}$ – общие показатели надежности организационно-технической системы для вариантов 2 и 5 соответственно.

Если $\eta_5 > 1$, присутствие человека увеличивает надежность системы, при $\eta_5 < 1$ – уменьшает. Такие коэффициенты можно рассчитать для любого из рассмотренных вариантов.

Вектор научных задач, направленных на оценку показателей надежности, имеет постоянную тенденцию к расширению функционала путем учета дополнительных свойств, связанных с возникновением отказов технических систем (средств) и ошибок обслуживающего персонала. При разработке новых подходов к оценке надежности сложных организационно-технических систем связи модель, изображенная на рисунке 3, позволяет легко проследить закономерности между новыми свойствами и уже известными показателями, а представленные в статье варианты оценки, не претендуя на полноту, в известной степени отражают эволюцию подходов к анализу надежности. Кроме того, применение расчетных соотношений конкретизирует используемые подходы и позволяет строго судить о том, какие ограничения и допущения использовались при проведении расчетов.

Видится возможным сосредоточить дальнейшие усилия на исследования, направленные на разработку специального инженерно-психологического подхода оценки надежности организационно-технических систем связи специального назначения, учитывающего свойства восстанавливаемости, профилактичности и подготовливаемости.

Список литературы

1. Сифоров В.И. О методах расчета надежности систем, содержащих большое число элементов // Известия АН СССР, ОТН. 1954. № 6. С. 28–38.
2. Бебиашвили Ш.Л. Основные вопросы теории резервирования // Известия АН СССР, ОТН. 1956. № 2. С. 44–56.
3. Бебиашвили Ш.Л., Сеница М.А. Надежность радиоэлектронной аппаратуры. М.: Изд-во «Советское радио». 1958. 230 с.
4. Шора Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М.: Изд-во «Советское радио». 1962. 125 с.
5. Маликов И.М. Основы теории и расчета надежности / И.М. Маликов [и др.]. Л.: Судпромгиз, 1960. 172 с.
6. Гнеденко А.Д., Беляев Ю.К., Коваленко И.Н. Математические вопросы теории надежности // Итоги науки. Серия «Теория вероятностей. Математическая статистика. Теория кибернетики». 1964. С. 7–53.
7. Сорин Я.М. Служба надежности. М.: Изд-во «Знание». 1966. 87 с.
8. Бруевич Н.Г. Вопросы надежности и точности электронных устройств в машиностроении и приборостроении // Вопросы точности и надежности в машиностроении. Изд-во АН СССР. 1962. С. 34–46.
9. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2007. 275 с.
10. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь, 1981. 264 с.

11. Можаяев А.С. Технология автоматизированного структурно-логического моделирования надежности, живучести, безопасности, эффективности и риска функционирования систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 9. С. 1–14.
12. Комарович В.Ф., Сосунов В.Н. Случайные помехи и надежность КВ связи. М.: Связь, 1977. 135 с.
13. Дудник Б.Я., Овчаренко В.Ф., Орлов В.К. Надежность и живучесть систем связи / под ред. Б. Я. Дудника. М.: Радио и связь, 1984. 216 с.
14. ГОСТ Р 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения = Dependability in technics. Terms and definitions : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июня 2016 г. № 654-ст : введен впервые : дата введения 2017-03-01. М.: Стандартинформ, 2016. 24 с.
15. Шубин Р.А. Надежность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / под ред. Р. А Шубина. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 80 с.
16. Фокин Ю.Г. Надежность при эксплуатации технических средств. М.: Воениздат, 1970. 224 с.

Милашевский Алексей Викторович, канд. техн. наук, доцент, a.milashevskij@gmail.com, Республика Беларусь, Гродно, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы

SELECTION AND JUSTIFICATION OF INDICATORS ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL COMMUNICATION SYSTEMS FOR SPECIAL PURPOSE

A.V. Milashevsky

In the article, based on the analysis of scientific and theoretical works, the problem of assessing the reliability of organizational and technical systems for special purposes is updated. A dynamic model of changes in the state of such systems has been developed, which allows us to trace the relationship and interdependence of private processes that ensure the implementation of the target function of the system. Variants of calculated relationships are summarized and presented, reflecting the evolution of approaches to reliability analysis, allowing, under selected restrictions and assumptions, to evaluate the overall system reliability indicator, including taking into account the human factor and technical reliability of communications equipment.

Key words: reliability, organizational and technical system, special-purpose communication system (means), stages of operation, dynamic model.

Milashevsky Alexey Viktorovich, candidate of technical science, docent, a.milashevskij@gmail.com, Republic of Belarus, Grodno, Yanka Kupala State University of Grodno

УДК 004.942

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-225-226

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК В ТЕЧЕНИЕ ЗАДАННОГО ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А. С. Белов, М. М. Добрышин Д. Е. Шугуров

Непрерывный рост количества компьютерных атак, требуют адекватной и своевременной адаптации применяемых средств обеспечения информационной безопасности, в том числе на основе обновлений применяемых баз данных. Анализ результатов практической деятельности свидетельствуют о том, что в течение срока эксплуатации у указанных средств изменяются эксплуатационные характеристики, в частности для заданных режимов работы требуется большее количество вычислительных ресурсов. Данный факт в зависимости от заданных режимов работы могут привести или к пропуску нежелательных событий или блокированию предоставляемых услуг связи. Сформулированная методика позволяет на основе учета динамики объема используемых вычислительных ресурсов и изменения количества определенных видов компьютерных атак прогнозировать изменение эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: эксплуатационные характеристики, вычислительные ресурсы, прогнозирование, нейросеть.

Система обеспечения информационной безопасности (СОИБ) является подсистемой сети связи, целью которой является предоставление услуг связи с заданным качеством и в частности эта система должна не допускать или минимизировать ущерб от различных компьютерных атак. Однако вместе с указанной центральной полезной функцией программные средства защиты от компьютерных атак (ПрСЗ КА) входящие в состав СОИБ используют ресурсы элементов сети связи, на которых они (ПрСЗ КА) установлены.

Исходя из идеологии защиты от компьютерных атак (КА), средство обеспечения информационной безопасности должно (с заданной достоверностью) предотвращать (минимизировать) ущерб от всех известных КА, однако в ходе эксплуатации объем знаний об известных КА постоянно увеличивается, что приводит к увеличению времени проверки или использованию большего вычислительного ресурса ПЭВМ, на котором ПрСЗ КА установлено [1]. Перечисленные факторы влияют на снижение уровня информационной безопасности (ИБ).

Одним из подходов сокращения времени проверки (снижению используемого вычислительного ресурса) является разработка и внедрение новых алгоритмов функционирования, которые способны выполнять поставленные задачи в установленных ограничениях. Однако такой подход доступен лишь разработчикам и по своей сути является новым программным продуктом. В рамках небольших компаний, задача переустановки программного обеспечения (ПО) не представляет существенной технической задачей, а в рамках крупных компаний, филиалы которой расположены в разных субъектах, указанная задача становится не тривиальной (определение совместимости ПО, протоколов взаимодействия, согласование расписаний работы должностных лиц и др.).

Другим подходом, позволяющим сократить времени проверки (снижению используемого вычислительного ресурса) является выделение требуемых ресурсов. Такой подход, возможно, декомпозировать на два основных направления: первое – кратковременное выделение ресурсов, второе – заблаговременное выделение ресурсов.

Кратковременное выделение ресурсов с экономической точки зрения не требует дополнительных вложений, но исходя из анализа техник реализации различных КА [2-4], следует вывод о том, что значительная часть КА реализуется в процессе предоставления пользователям сети услуг связи, что также требует использования ресурсов ПЭВМ. Как следствие ПЭВМ в отдельных условиях будет не способен выделить дополнительные ресурсы для ПрСЗ КА.

Заблаговременное выделение ресурсов с экономической точки зрения приводит к нецелевому использованию (неиспользованию) ресурсов ПЭВМ, однако позволяет обеспечить работу как ПрСЗ КА, так и предоставлять абонентам требуемые услуги связи. Для снижения нецелевого использования ресурсов ПЭВМ предлагается применение сформулированной авторами методики. В качестве примера ПрСЗ КА в статье рассмотрено антивирусное средство (АВС) – «Kaspersky Endpoint Security для Windows», вместе с тем, сформулированный подход, возможно, применять для всех типов ПрСЗ КА. Сущность методики заключается в выполнении следующих действий.

Развертывают испытательный стенд, включающий ПЭВМ с установленным ПрСЗ КА. Для рассматриваемого примера используется ПЭВМ и АВС Kaspersky Endpoint Security для Windows версия KES 10.2.1.23. Для начальных условий АВС обновлен до версии антивирусной базы 25.11.2013. Основные характеристики ПЭВМ указаны на рисунке 1.

В качестве исследуемых файлов выступают: исполняемые файлы *.exe, архив *.rar, файлы *.pdf и набор файлов с вредоносным программным обеспечением (табл. 1).

Устанавливают и запускают на ПЭВМ специализированное программное средство – TechPowerUp GPU-Z-2.35.0, с помощью которого измеряют значений основных параметров характеризующих функционирование ПЭВМ (рис. 2).

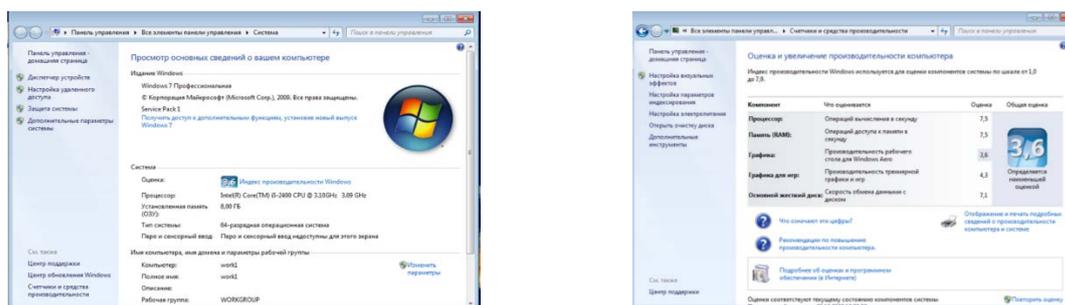


Рис. 1. Технические характеристики ПЭВМ испытательного стенда

Таблица 1

Наборы проверяемых файлов при проведении эксперимента

Тип проверяемых данных	Размер (байт)
Исполняемые файлы *.exe	2345500672
Архив *.rar	1472921600
Файлы *.pdf	13107200
Набор файлов с вирусами	221163520

На flash USB-носитель сохраняют один из указанных (табл. 1) наборов файлов, подключают к ПЭВМ и проверяют АВС, одновременно с этим измеряют значения основных параметров характеризующих функционирование ПЭВМ. Учитывая особенности функционирования АВС, после каждого эксперимента по проверке наборов исходных данных для одной антивирусной базы данных, АВС деинсталлируется, очищается долговременная память, после чего повторно устанавливается АВС и обновляются антивирусной базы данных. Результаты проверки наборов файлов для одного эксперимента представлены в таблице 2.

Анализ результатов измерений параметров ПЭВМ показал, что достоверно определить момент начала проверки набора файлов и учесть при этом протекающие в ПЭВМ процессы на данный момент не представляется возможным. В связи, с чем проведено по пять экспериментов и рассчитаны: среднее время проверки, среднее значение загрузки центрального процессора и среднее значение используемой оперативной памяти. Из-за значительного изменения указанных параметров, для наглядности и возможности оперирования единой величиной, результаты измерений пронормированы относительно предшествующих значений каждого из временных рядов и представлены в виде приращения исследуемых параметров в – % (рис. 3).

Логика работы АВС свидетельствует о том, что увеличение антивирусной базы пропорционально динамике изменения количества выявленного нового ВПО (рис. 4) [5-7]. Исходя из этого и для повышения достоверности результатов прогнозирования изменения значений параметров ПЭВМ предлагается при анализе учитывать динамику изменения количества выявленного нового ВПО.

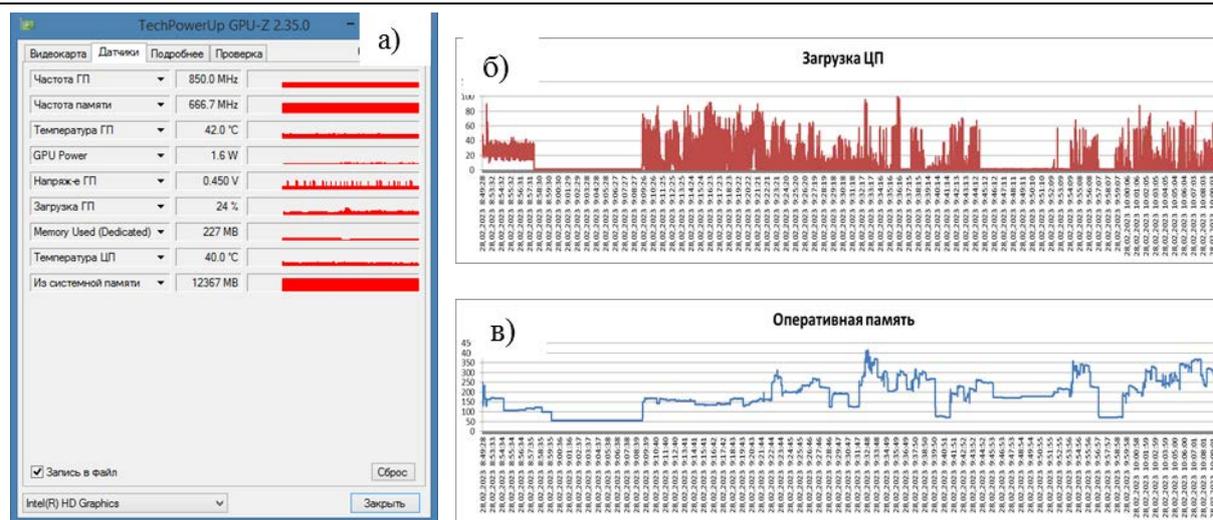


Рис. 2. Результаты измерений значений отдельных параметров ПЭВМ (при использовании ABC «Касперский»): а – Интерфейс программы измерения параметров ПЭВМ – TechPowerUp GPU-Z-2.35.0; б – результаты измерения загрузки центрального процессора ПЭВМ; в – результаты измерения загрузки оперативной памяти ПЭВМ

Таблица 2

Результаты проверки ABC «Касперский» тестовых наборов файлов

Тип проверяемых данных	Параметры проверки	Антивирусная база				
		25.11.2013	16.03.2018	09.04.2019	22.03.2020	06.02.2021
Исполняемые файлы *.exe	Событие	2	2	2	2	2
	Количество объектов	24835	60900	61336	62012	109737
	Угроза	0	0	0	0	0
Архив *.rar	Событие	1167	1318	2993	2993	2993
	Количество объектов	0	0	41019	41163	41344
	Угроза	0	0	0	0	0
Файлы *.pdf	Событие	2	2	2	2	2
	Количество объектов	185	506	505	505	505
	Угроза	0	0	0	0	0
Набор файлов с ВПО	Событие	153	585	596	617	731
	Количество объектов	12259	14091	14059	14085	14049
	Угроза	52	194	189	199	186

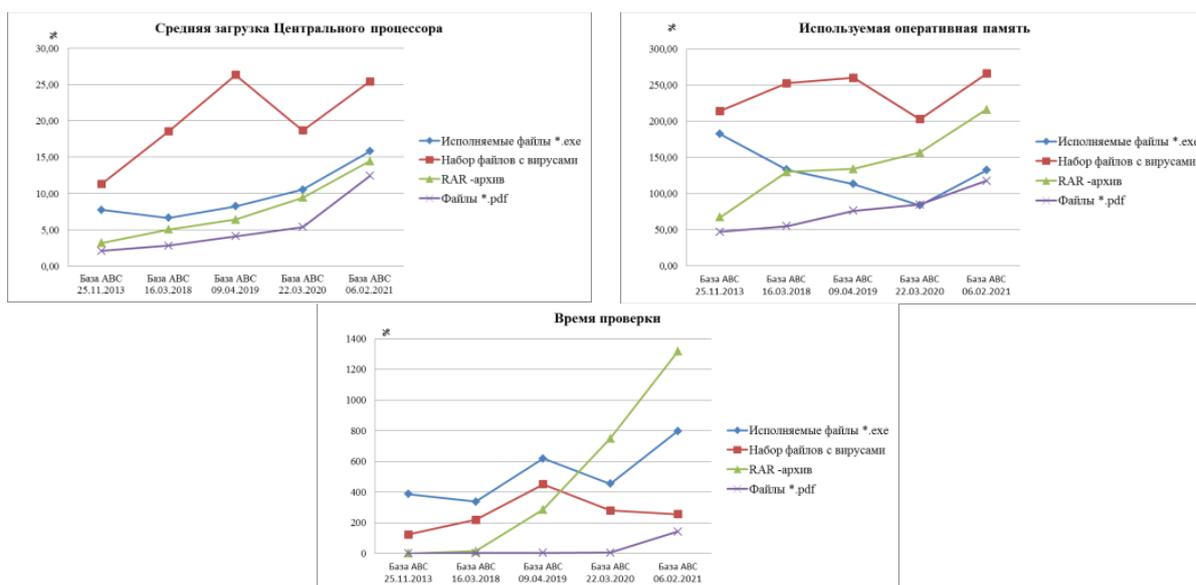


Рис. 3. Динамика изменения контролируемых параметров при проверке тестовых наборов файлов (при использовании ABC «Касперский»)



Рис. 4. Изменение количества обнаруженного нового ВПО «Лабораторией Касперского»

Для формирования прогностической модели изменения значений используемых АВС ресурсов ПЭВМ предлагается использовать сеть многослойных перцептронов [1, 8-10]. Данные сети позволяют прогнозирование изменения временного ряда с высокой степенью достоверности, при незначительных временных затратах на их разработку. В качестве инструмента автоматизированного построения указанных сетей предлагается использовать встроенные возможности STATISTICA (ver. 10.0.1011.0).

В качестве обучающих выборок (временных рядов) используются следующие пары временных рядов (рис. 3, 4):

- приращение среднего значения используемой оперативной памяти ПЭВМ – приращение количества выявленного нового ВПО;
- приращение среднего значения загрузки центрального процессора ПЭВМ – приращение количества выявленного нового ВПО;
- приращение времени проверки АВС набора проверяемых файлов каждого из выбранных типов – приращение количества выявленного нового ВПО.

В качестве изучаемых процессов рассматриваются следующие временные ряды:

- приращение среднего значения используемой оперативной памяти ПЭВМ;
- приращение среднего значения загрузки центрального процессора ПЭВМ;
- приращение времени проверки АВС набора проверяемых файлов каждого из выбранных типов.

Для автоматического синтеза нейросети в STATISTICA (ver. 10.0.1011.0) использовались следующие параметры:

Минимальное количество скрытых нейронов – 2.

Максимальное количество скрытых нейронов – 8.

Количество обучаемых сетей – 20.

Количество сохраняемых сетей – 5.

Функции активации скрытых нейронов – тождественная, логистическая, гиперболическая и экспоненциальная.

Функции активации выходных нейронов – тождественная, логистическая, гиперболическая и экспоненциальная.

Выбор нейросети для каждой пары параметров обладающей наибольшей достоверностью результатов проводился на основе сравнения распределения остатков обучения (рис. 5).

Проверка адекватности результатов прогнозирования осуществлена путем сравнения результатов прогнозирования и результатов эксперимента для АВС Kaspersky Endpoint Security для Windows (антивирусная база от 24.05.2022, 15.08.2023), а также статистических данных о выявленном ВПО («Лаборатория Касперского») в те же периоды.

Отклонение результатов прогнозируемых значений параметров (среднее значение загрузки центрального процессора, используемой оперативной памяти и времени проверки) от экспериментальных значений не превышают 3 %, что подтверждает адекватность моделей и сформулированную гипотезу.

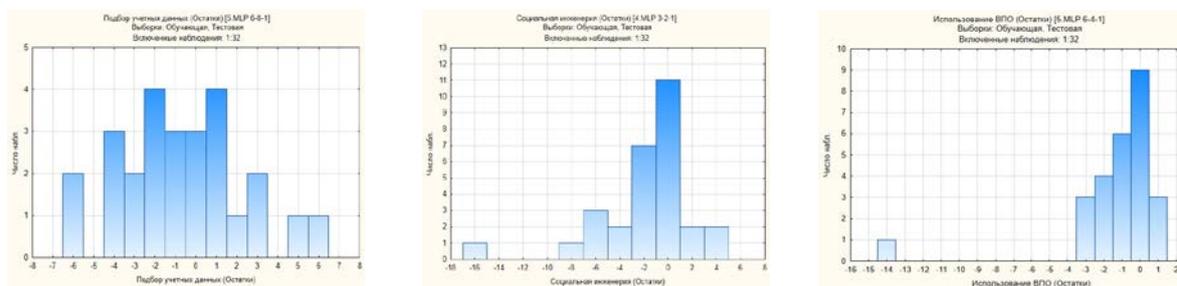


Рис. 5. Результаты сравнения распределения остатков обучения для различных сформированных нейросетей

Учитывая тот факт, что проведение экспериментов по оценке используемых вычислительных ресурсов требуют значительных временных затрат, наличия зависимости между группой эксплуатационных характеристик и количеством выявленного ВПО, а также наличием постоянно обновляемых статистических данных о количестве выявленного ВПО, сформированы нейросети в которых для обучения и рисунков 3 и 4, а в качестве исходных данных для прогнозирования применяются только сведения о количестве выявленного нового ВПО. Методика формирования и выбора наилучшей нейросети аналогична ранее описанной.

Результаты сравнения значений параметров эксплуатационных характеристик полученных в ходе эксперимента (антивирусная база от 18.01.2024) с результатами прогнозирования показывают, что отклонение не превышает 5 % из чего следует вывод о достаточно высокой достоверности результатов прогнозирования, что в свою очередь позволяет судить, о применимости сформулированной методики для прогнозирования изменения значений параметров технических характеристик средств защиты от компьютерных атак на период их эксплуатации.

Список литературы

1. Белов А. С., Добрышин М. М., Душкин А. В. Системный подход к проектированию систем обеспечения информационной безопасности / Москва, 2023.
2. Давлятова М. А., Мокшонкова А. А. Защита информации как основное направление повышения качества услуг // В сборнике: Торговля и сервис от настоящего к будущему: инновации в сфере товаров и услуг Сборник трудов по материалам молодежной конференции. 2017. С. 287-289.
3. Белов А. С., Добрышин М. М., Шугуров Д. Е. Предложение по оценке распространения компьютерных вирусов в локальной вычислительной сети / Авиакосмическое приборостроение. 2021. № 6. С. 38-48.
4. Основные типы кибератак и способы борьбы с ними: электр. журн. Positive Technologies. 2023. URL: <https://www.securitylab.ru/analytics/535598.php> (дата обращения: 10.04.2023).
5. Кибербезопасность цифровой индустрии. Теория и практика функциональной устойчивости к кибератакам / Под редакцией профессора РАН, доктора технических наук Д. П. Зегжды. – М.: Горячая линия - Телеком, 2020. – 560 с.: ил.
6. Адаптивная архитектура: ключ к истинной кибербезопасности году [Электронный ресурс] // Kaspersky.ru [сайт]. – URL: <http://kaspersky-ru.turbopages.org/kaspersky.ru/s/blog/asa-key-to-true-cybersecurity/4599/> (дата обращения 29.01.2024).
7. Добрышин М. М. Направления развития и задачи повышения эффективности адаптивных систем обеспечения информационной безопасности / Экономика и качество систем связи. 2022. № 3 (25). С. 46-54.
8. Coinspot: Mirosana – нейронная сеть для торговли на крипторынке. 2017. [Электронный ресурс] URL: <https://coinspot.io/technology/mirosana-nejronnaya-set-dlya-torgovli-na-kriptorynke> (дата обращения: 10.04.2023).
9. Jahn M. Artificial neural network regression models in a panel setting // Predicting economic growth. September 2020. Vol. 91. P. 148-154.
10. Сергеев В.А. Использование нейросетей в прогнозировании фондового рынка // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2018. Т. 7. № 4(25). С. 280-282.

Белов Андрей Сергеевич, д-р техн. наук, доцент, andrej2442016@yandex.ru, Россия, Орел, Академия ФСО России,

Добрышин Михаил Михайлович, канд. техн. наук, сотрудник, Dobrythin@ya.ru, Россия, Орел, Академия ФСО России,

Шугуров Дмитрий Евгеньевич, канд. техн. наук, сотрудник, sde33@academ.msk.rsnet.ru, Россия, Орел, Академия ФСО России

THE METHODOLOGY OF FORECASTING AND EVALUATING THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF SOFTWARE PROTECTION AGAINST COMPUTER ATTACKS DURING A GIVEN OPERATING TIME

A.S. Belov, M.M. Dobryshin, D.E. Shugurov

The continuous increase in the number of computer attacks requires adequate and timely adaptation of the information security tools used, including on the basis of updates to the databases used. An analysis of the results of practical activities indicates that during the service life of these tools, the operational characteristics change, in particular, a larger amount of computing resources is required for the specified operating modes. This fact, depending on the set operating modes, can lead either to the omission of undesirable events or the blocking of communication services provided. The formulated methodology makes it possible, based on taking into account the dynamics of the volume of computing resources used and changes in the number of certain types of computer attacks, to predict changes in operational characteristics.

Key words: operational characteristics, computing resources, forecasting, neural network.

Belov Andrey Sergeevich doctor of technical sciences, docent, andrej2442016@yandex.ru, Russia, Orel, Academy of the FSO of Russia,

Dobryshin Mikhail Mikhailovich, candidate of technical sciences, employee, Dobrythin@ya.ru, Russia, Orel, Academy of the FSO of Russia,

Shugurov Dmitry Evgenievich, candidate of technical sciences, employee, sde33@academ.msk.rsnet.ru, Russia, Oryol, The Academy of FSO of Russia

ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА НА ЗАЩИЩЁННОСТЬ ВОДИТЕЛЯ ОТ ТРАВМ И ДОРОЖНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

С.Н. Орловский, А.И. Карнаухов, С.А. Войнаш

Приводится анализ степени влияния социально-психологических факторов на формирование опасных и аварийных ситуаций при перевозке грузов автомобильным транспортом. Решающее значение на формирование опасных транспортных ситуаций при перевозках сельскохозяйственных грузов оказывают социально-психологические факторы. Анализ ситуаций позволил сформировать понятие «индивидуальная защищенность водителя», что необходимо для эффективной профилактической работы по снижению аварийности на транспорте.

Ключевые слова: перевозки, аварии, травматизм, стаж, возраст, техника.

С целью разработки комплексной программы по снижению транспортного травматизма при перевозках сельскохозяйственных грузов на предприятиях агропромышленного комплекса (АПК) Красноярского края были проведены исследования по установлению причинно-следственных связей формирования условий и обстоятельств, при которых происходит травмирование участников транспортно-технологических процессов.

В результате анализа всего массива несчастных случаев от дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и нарушений норм безопасности труда за последние десять лет было установлено, что решающее значение на формирование аварийных ситуаций при перевозках сельскохозяйственных грузов оказывают социально-психологические факторы и условия. Основным носителем этого влияния на опасные или аварийные ситуации являются водители транспортных средств (61%), а также другие участники транспортно-технологических процессов по перевозке грузов внутри хозяйств.

Объекты и методика. Одним из основных показателей безаварийной работы водителей является защищенность от несчастных случаев, в том числе и от ДТП [1]. Защищенность водителя определяет его способность не создавать при вождении автомобиля опасные ситуации, а в случае их возникновения (по вине водителя или независимо от него) успешно им противодействовать.

Ещё в начале XX века немецкий психолог К. Марбе обратил внимание на то, что люди перед опасностью не равны и ввел понятие "подверженность несчастным случаям". В английской энциклопедии по безопасности и гигиене труда это качество определяется как «личностная склонность или предрасположенность к тому, чтобы самому становиться жертвой несчастного случая, либо стать причиной несчастного случая, происшедшего с другим работником». При всей недостаточной научной состоятельности этой теории (делить людей здоровых и нормальных на заведомо от рождения удачливых и не очень) в основе ее имеется рациональное начало, которое в середине XX века позволило специалисту по проблемам безопасности дорожного движения англичанину Ф. Маккану предложить термин «дифференциальной попадаемости в несчастные случаи» вместо «подверженности травмам» [2].

К середине 80-х годов и этот термин утратил свою реальную значимость в трудовой транспортной работе, а все чаще начал использоваться термин «надежность» работы водителя. Однако, отождествляя понятие «надежности» водителя с «надежностью» машины, мы пришли к выводу, что это недопустимо, так как, имея дело с живым человеком, занимаясь безопасностью труда или безопасностью деятельности транспортников, мы интересуемся не только самим фактом отказов или ошибок, статистических закономерностей их возникновения, но и теми последствиями, которые из них вытекают.

Поэтому мы предлагаем использовать термин «Защищенность водителя от ДТП и несчастных случаев».

Результаты и обсуждение. Поскольку защищенность водителя от ДТП и несчастных случаев зависит от комплекса социально-психологических качеств (свойств темперамента, внимания, эмоциональной и сенсомоторной уравновешенности и пр.), то в этом смысле можно говорить о некоторой базовой (природной) его защищенности. Однако безопасность работы водителя зависит также от социальных факторов (психологический климат в коллективе, удовлетворённость заработной платой, обеспеченность жильем и семейное благополучие, режим труда и отдыха, состояние общей аварийности и травматизма на производстве и др.) [3].

На защищенность водителя от ДТП и несчастных случаев влияет также его обученность и тренированность, текущее физическое и психофизиологическое состояние, определяемое в свои очередь биоритмами по трем основным их составляющим (физическое, эмоциональное и интеллектуальное состояние) интересом и мотивом к выполняемой работе и соблюдением правил движения и правил безопасного труда. С учетом природных и приобретенных каждым водителем профессиональных качеств можно говорить об индивидуальной его защищенности от ДТП и несчастных случаев [4].

Для развития и закрепления, нужных с точки зрения безопасности труда качеств водителя, по нашему мнению, в каждом гараже или транспортном цехе весь водительский коллектив должен быть разделен хотя бы на две группы «А» и «Б» [5, 6, 7]:

А – водители, работающие без аварий;

Б – водители, попадающие в аварийные ситуации.

Наблюдения, беседы, экзамены, тестирования (в форме вопросов и ответов) определяют выраженность у тех и других психофизиологических качеств, и способностей, а также рейтинг важности каждого качества. Установив рейтинг (коэффициент), можно составить комплекс частных психофизиологических качеств (профессиограмму) для профессиональной группы водителей, осуществить профессиональный их отбор или распределить на соответствующие участки работ (виды транспортных средств) тех водителей, у которых соответствующие качества выражены сильнее (имеют высокий рейтинг).

Результаты проявления того или иного психофизиологического качества заносят в личную карточку учёта, а затем используют при определении коэффициента профессиональной пригодности водителя к той или иной работе. Подобная методика, учитывающая социально-психофизиологические качества водителей, характеризует их защищенность от ДТП и несчастных случаев и может широко использоваться специалистами по безопасности труда

и движения при профессиональном отборе работников, занятых вождением и обслуживанием транспортных средств в предприятиях АПК.

Результаты проведения работ по анализу ДТП в Назаровском, Шушенском, Рыбинском, Идринском и Минусинском районах показали, что понятие «надёжность в работе водителя» и «индивидуальная защищённость водителей от ДТП и несчастных случаев» не являются синонимами и каждое из них отражает различную иерархию и совокупность действующих факторов и условий, определяющих отсутствие опасных или аварийных ситуаций. Так, например, при анализе причин ДТП и несчастных случаев по времени суток и периодам года было установлено, что впервые дни весеннего сева или уборки урожая относительное количество ДТП, происходящих по вине водителей, было явно выше, чем количество их, вызванное другими участниками движения (пассажиры, пешеходы, грузчики и др.). Причем нарушения водителей на внутрихозяйственных перевозках заключались, главным образом, в пренебрежении правилами дорожного движения, необоснованном риске, «раскачке» и недостаточном внимании к техническому состоянию транспортных средств, то есть являлось результатом их недостаточной мотивации к безопасному поведению.

Заключение. В первой половине периода обнаруживалось относительное снижение надёжности работы водителя из-за понижения их индивидуальной защищённости (в основном из-за низкой мотивации к труду и соблюдению правил).

Во второй же половине указанных периодов года, когда начинала сказываться усталость, недосып, индивидуальная защищённость водителей снижалась, они уже не могла избегать опасных ситуаций, так как опасные условия и действия создавались другими участниками движения.

При этом защищённость водителей падала, а надёжность их работы оставалась высокой. Для обеспечения постоянного уровня надёжности в работе каждого водителя и его индивидуальной защищённости от ДТП и несчастных случаев следует глубоко вникать в природу поведения водителей и более тонко анализировать индивидуальные качества.

Список литературы

1. Моисеев В.А. Повышение эффективности использования сельскохозяйственных машин и агрегатов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 1992. 218 с.
2. Чепелев Н.И. Организация работы службы охраны труда на предприятии: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск: КрасГАУ, 2018. 317 с.
3. Филатов М.И., Булатов С.В. Обеспечение бесперебойной работы подвижного состава как фактор надёжности // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Международная научно-практическая конференция (Красноярск, 7–8 апреля 2016 г.). Сборник научных трудов в двух частях. Часть 2. 2016. С. 408 -411.
4. Пехутов А.С., Алдошин Д.Н. Моделирование транспортных систем в сельском хозяйстве // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Международная научно-практическая конференция (Красноярск, 7–8 апреля 2016 г.). Сборник научных трудов в двух частях. Часть 2. 2016. С. 609-615.
5. Зырянова С.А., Филимонов Е.П., Филимонова О.А. Учет технических средств организации дорожного движения с использованием информационных технологий // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Международная научно-практическая конференция (Красноярск, 7–8 апреля 2016 г.). Сборник научных трудов в двух частях. Часть 2. 2016. С.626-630.
6. Чепелев Н.И. Безопасность технологических процессов АПК; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации. ФГОУ ВПО Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2003. 280 с.
7. Чепелев Н.И. Методы и технические средства повышения безопасности операторов при технологических отказах сельскохозяйственной техники: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.20.01 / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Красноярск, 2004. 33 с.

Орловский Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, orlovskiysergey@mail.ru, Россия, Красноярск, Красноярский государственный аграрный университет,

Карнаухов Андрей Иванович, канд. техн. наук, доцент, karnaukhov.ai@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,

Войнаш Сергей Александрович, младший научный сотрудник, sergey_voi@mail.ru, Россия, Рубцовск, Рубцовский индустриальный институт (филиал) Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

INFLUENCE OF SOCIO-PSYCHOLOGICAL FACTORS OF THE TRANSPORT PROCESS ON DRIVER PROTECTION FROM INJURIES AND ROAD ACCIDENTS

S.N. Orlovskiy, A.I. Karnaukhov, S.A. Voinash

An analysis of the degree of influence of socio-psychological factors on the formation of dangerous and emergency situations during the transportation of goods by road is provided. Social and psychological factors play a decisive role in the formation of dangerous transport situations during the transportation of agricultural goods. The analysis of situations made it possible to formulate the concept of “individual driver protection,” which is necessary for effective preventive work to reduce accidents in transport.

Key words: transportation, accidents, injuries, experience, age, equipment.

Orlovskiy Sergey Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, orlovskiysergey@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Agrarian University,

Karnaukhov Andrey Ivanovich, candidate of technical sciences, docent, karnaukhov.ai@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,

Voinash Sergey Alexandrovich, junior researcher, sergey_voi@mail.ru, Russia, Rubtsovsk, Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University

УДК 331.015.1

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-232-233

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СИСТЕМАХ

О.В. Есиков, А.И. Ковинько

Предложены рекомендации по практическому использованию моделей и методов построения процессов хранения и обработки информации в учебно-тренировочных системах. Приведены исходные данные, результаты и порядок решения задач. Рассмотрены особенности применения метода косяка рыб для получения рационального решения задач за ограниченное время. Рассмотрены варианты, как взаимосвязанного, так и автономного решения задач построения процессов хранения и обработки информации в учебно-тренировочных системах с учетом их комплексного применения.

Ключевые слова: тренажерные комплексы, математическое моделирование, распределенные системы.

Разработанные в [1,2] математические модели построения процессов хранения и обработки информации в УТС могут быть использованы на этапе проектирования, в период эксплуатации и совершенствования тренажерных комплексов [3].

Для решения задач построения процессов хранения и обработки информации в УТС предложено использовать метод косяка рыб (МКР) [4,5]. Возможно применение данного метода при реализации, как традиционной, так и распределенной схемы организации вычислений.

Выбор значений параметров метода решения зависит от [6,7]:

1. размерности решаемой задачи;
2. требований к максимально допустимому времени решения задачи;
3. прогнозируемого времени решения задачи заданной размерности.

Размерность задачи определяется числом переменных и ограничений. Увеличение данных параметров приводит к нелинейному росту времени ее решения. Исходные данные решаемой задачи определяются целями системы и конкретным состоянием УТС на момент решения задач.

Схема применения метода косяка рыб для решения формализованных задач представлена на рисунке 1.

МКР применяется для решения задач оптимизации распределения элементов программного обеспечения (ЭПО) и информационных массивов (ИМ) по узлам серверного сегмента. Размерность задач определяется на основе данных о количестве узлов, ЭПО и ИМ в серверном сегменте. По аппроксимирующим зависимостям [8] рассчитываются рациональные значения параметров МКР, применение которых позволяет получить планы распределения ЭПО и ИМ по узлам серверного сегмента близкие к оптимальным за приемлемое время.

Наличие экспериментальных данных о влиянии исходных данных на время получения результата, позволяет получить ожидаемое время решения задачи с конкретным вариантом исходных данных каждым из рассматриваемых методов решения.

В связи с тем, что экспериментальная проверка эффективности метода решения формализованных задач выполняется на вычислительном комплексе с параметрами, которые будут отличаться от характеристик средств вычислительной техники эксплуатирующихся в конкретной организации, целесообразно иметь набор тестовых задач различной размерности.

Предварительное и однократное решение данных задач на реально эксплуатирующихся вычислительных комплексах с соответствующей засечкой времени их решения рассматриваемым методом позволит осуществить корректировку прогнозных значений ожидаемого времени получения решения в реальных условиях.

Исходя из этого, последовательность действий по решению совокупности задач построения процессов обработки и хранения данных в УТС включает следующие шаги (рисунок 2).

1. Определение параметров решаемой задачи (размерность, условия функционирования УТС и т.п.).
2. Формирование исходных данных:
 - а) задача распределения ЭПО в клиентском сегменте:
 - число учебных задач;
 - перечень учебных задач;
 - перечень ЭПО;
 - план закрепления учебных задач за рабочими местами (РМ);
 - матрица связи учебных задач с ЭПО;
 - множество номеров узлов клиентского сегмента УТС.

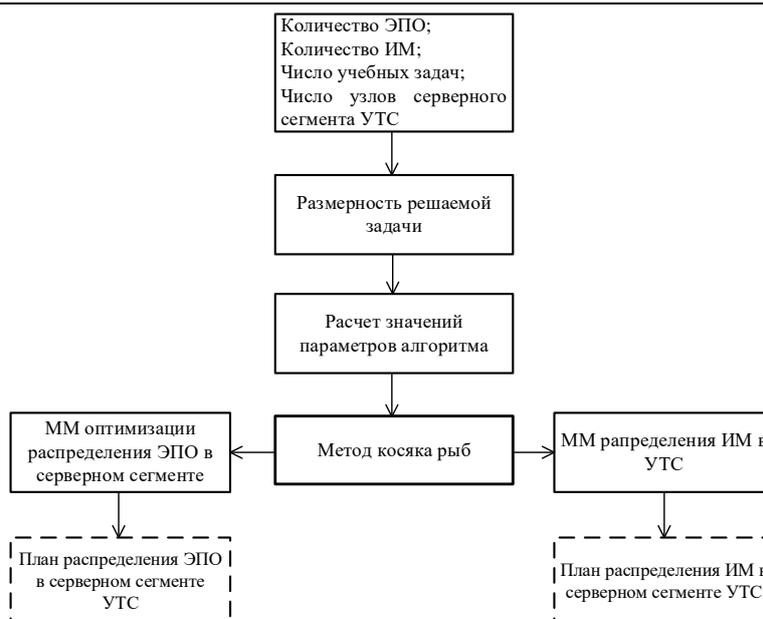


Рис. 1. Схема применения метода косяка рыб для решения задач построения процессов хранения и обработки информации в УТС

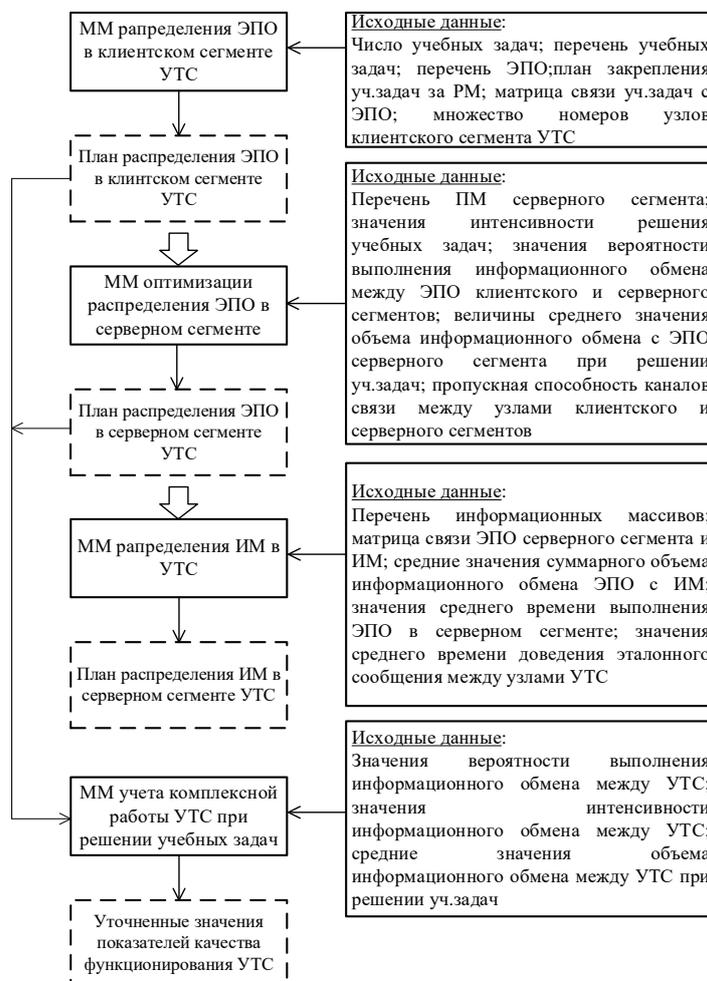


Рис. 2. Последовательность решения задач построения процессов хранения и обработки информации в УТС

б) задача распределения ЭПО в серверном сегменте:
 перечень ПМ серверного сегмента;
 значения интенсивности решения учебных задач;
 значения вероятности выполнения информационного обмена между ЭПО клиентского и серверного сегментов;

величины среднего значения объема информационного обмена с ЭПО серверного сегмента при решении учебных задач;

пропускная способность каналов связи между узлами клиентского и серверного сегментов;

множество номеров узлов УТС серверного сегмента;

план распределения ЭПО в клиентском сегменте.

в) задача распределения ИМ в УТС:

перечень информационных массивов;

матрица связи ЭПО серверного сегмента и ИМ;

средние значения суммарного объема информационного обмена ЭПО с ИМ;

значения среднего времени выполнения ЭПО в серверном сегменте;

значения среднего времени доведения эталонного сообщения между узлами УТС;

множество номеров узлов УТС серверного сегмента;

план распределения ЭПО в серверном сегменте.

г) задача учета комплексной работы УТС при решении учебных задач:

значения вероятности выполнения информационного обмена между УТС;

значения интенсивности информационного обмена между УТС;

средние значения объема информационного обмена между УТС при решении учебных задач;

план распределения ЭПО в серверном сегменте;

план распределения ЭПО в клиентском сегменте.

1. Подготовка к решению задач. Для задач распределения ЭПО в серверном сегменте и ИМ в УТС на основе исходных данных определить размерность решаемой задачи и рассчитать рациональные значения параметров МКР.

Решение задач. Порядок решения задач построения процессов хранения и обработки информации в УТС представлен на рисунке 3. Следует учитывать, что результат решения задачи распределения ЭПО в клиентском сегменте УТС является элементом исходных данных для задач оптимизации распределения ЭПО в серверном сегменте и учета комплексной работы УТС при решении учебных задач. План распределения ЭПО в серверном сегменте, являющийся результатом решения соответствующей задачи, входит в исходные данные задач распределения ИМ в УТС и учета комплексной работы УТС при решении учебных задач. Указанные исходные данные задачи учета комплексной работы УТС при решении учебных задач должны быть сформированы для всех участвующих в информационном обмене УТС.

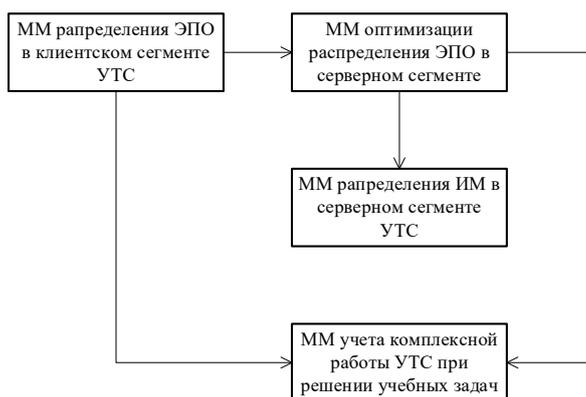


Рис. 3. Порядок применения математических моделей построения процессов хранения и обработки информации в УТС

При наличии всех исходных данных формализованные задачи могут решаться как последовательно, так и по отдельности.

Если в результате решения задач построения процессов хранения и обработки информации в УТС окажется, что отдельные требования технического задания по временным параметрам решения учебных задач, реакции системы на действия оператора, отображения обстановки и т.п. не выполняются, то следует рассмотреть варианты увеличения пропускной способности каналов передачи данных, вычислительной мощности узлов серверного сегмента и их состава.

Список литературы

1. Есиков, Д.О. Модели представления и обработки информации в комплексных учебно-тренажерных системах/ Есиков Д.О., Ковинько А.И. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 2. С. 87-94.
2. Есиков Д.О. Задачи распределения информационных ресурсов для построения вычислительных процессов в учебно-тренажерных системах/ Есиков Д.О., Румянцев В.Л., Ковинько А.И. // Телекоммуникации. 2023, №10. С.2-8.
3. Ковинько А.И. Оценивание эффективности составных компонентов системы информационно-логистической поддержки, обеспечивающих профессиональную подготовку операторов сложных технических систем/ Ковинько А.И., Абрамов П.И. // Сб. научных трудов НТО РЭС им. А.С. Попова. Тула: ТулГУ. 2019. С. 213-222.
4. С.Ж.А.В Filho, F.B. de Lima Neto, A.J.C.C. Lins, A.I.S. Nascimento, and M.P. Lima A novel search algorithm based on fish school behavior. Conference Proceedings – IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2008. P. 2646–2651.

5. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы вдохновленные природой. :уч.пособие. Москва:Изд.МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2017. 446 с.

6. Есиков Д.О. Методика выбора метода решения задач обеспечения устойчивости функционирования распределенных информационных систем // Электронные информационные системы № 1 (16), 2018. С. 64-76.

7. Есиков О.В. Теоретические основы оптимизации информационно-вычислительного процесса и состава комплексов средств защиты информации в вычислительных сетях/Киселев В.Д., Есиков О.В., Кислицын А.С. /Под ред. профессора Сухарева Е.М. -М.:Полиграфсервис XXI век.- 2003.- 198 с.

8. Есиков О.В. Общие принципы выбора параметров многоагентных алгоритмов стохастического поиска для решения отдельных задач дискретной оптимизации/ Есиков О.В., Есиков Д.О., Акиншина Н.Ю.//Приборы и системы. Контроль, управление, диагностика. №5, 2018. С. 47-56.

Есиков Олег Витальевич, д-р техн. наук, профессор, заместитель начальника отдела, cdbae@cdbae.ru, Россия, Тула, АО ЦКБА,

Ковинько Андрей Иванович, заместитель начальника отдела, Россия, Москва, Главное управление вооружения МО РФ

RECOMMENDATIONS ON THE PRACTICAL USE OF MATHEMATICAL MODELS AND METHODS FOR CONSTRUCTING INFORMATION STORAGE AND PROCESSING PROCESSES IN EDUCATIONAL AND TRAINING SYSTEMS

O.V. Yesikov, A.I. Kovinko

Recommendations on the practical use of models and methods for constructing information storage and processing processes in educational and training systems are proposed. The initial data, results and the order of solving problems are given. The features of using the fish shoal method to obtain rational solutions to problems in a limited time are considered. The variants of both interconnected and autonomous solutions to the problems of building information storage and processing processes in educational and training systems, taking into account their integrated application, are considered.

Key words: training complexes, mathematical modeling, distributed systems.

Yesikov Oleg Vitalievich, doctor of technical sciences, professor, deputy head of the department, cdbae@cdbae.ru, Russia, Tula, JSC CDBA,

Kovinko Andrey Ivanovich, deputy head of department, Russia, Moscow, Main Directorate of Armament of the Ministry of Defense of the Russian Federation

УДК 004.67; 004.912

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-235-236

УЛУЧШЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СООБЩЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ МЕТОДОМ ХЕШ-КОДИРОВАНИЯ

Д.В. Комолов, А.А. Горшков

Рассматриваются аспекты применения хеш-кодирования при обработке информационных сообщений на примере искусственного языка toki pona. Предметом исследования настоящей работы является оценка информационных характеристик сообщений, формируемых на языке toki pona, применимость процедуры хеш-кодирования сообщений для сокращения объема информации или повышения информационной скорости передаваемых сообщений в каналах управления.

Ключевые слова: хеш-кодирование, информационные характеристики, хеш-слова.

Формированию, передаче и обработке информационных сообщений по каналам управления посвящено множество работ [1-3], и практически каждая из них затрагивает вопросы повышения эффективности составных процессов обработки информации. Вне зависимости от физического источника первичной информации в каналах управления циркулируют сообщения, однозначно интерпретируемые лицом, принимающим управленческие решения, как сообщения на языке его носителя, даже если это не естественный, а специализированный или искусственный язык. Информационный подход при формировании специализированных или искусственных языков используется редко, чаще они формируются по апостериорному принципу. Данный принцип заключается в заимствовании автором, как правило лингвиста или переводчика, по его интуитивному мнению, наиболее созвучных или экономных конструкций из различных естественных языков и их синтезе в новый лексико-грамматический конструкт. Анонсированный интернет-общественности в 2001 году канадским лингвистом, переводчиком и эсперантистом Соной Ланг язык toki pona, имеющий код ISO «tok», реализовал на практике апостериорный принцип создания искусственного языка [4]. Отличительной особенностью данного языка является ограниченный 119 корнями или языковыми словарными единицами словарь, при этом сами слова или корни записываются всегда строчными буквами, ограниченными 14 латинскими символами. Это символы: *a, e, i, j, k, l, m, n, o, p, s, t, u, w*. Для придания выразительности предложениям языка toki pona, что дословно в переводе на русский обозначает «добрый язык», в качестве служебных символов применяются стандартные знаки: точка, запятая, восклицательный и вопросительный знаки, двоеточие и кавычки. В таблице 1 представлен оригинальный набор слов языка toki pona, разбитый на 14 групп по начальному символу, с некоторыми информационными характеристиками.

Таблица 1

Оригинальный набор слов языка toki ropa

Группа слов	Слова (корни)	Количество		
		слов в группе	символов в слове	
			минимальное	максимальное
<i>a</i>	a akesi ala ali ale anpa ante anu awen	9	1	5
<i>e</i>	e en	2	1	2
<i>i</i>	ijo ike ilo insa	4	3	4
<i>j</i>	jaki jan jelo jo	4	2	4
<i>k</i>	kala kalama kama kasi ken kepeken kilu kin kiwen ko kon kule kute kulupu	14	3	7
<i>l</i>	la lape laso lawa len lete li lili linja lipu loje lon luka lukin lupa	15	1	5
<i>m</i>	ma mama mani meli mi mije moku moli monsi mu mun musi mute	13	2	5
<i>n</i>	nanpa nasa nasin nena ni nimi noka	7	2	5
<i>o</i>	o oko olin ona open	5	1	4
<i>p</i>	pakala pali palisa pana pi pilin pimeja pini pipi poka poki pona	12	2	6
<i>s</i>	sama seli selo seme sewi sijelo sike sin sina sinpin sitelen sona soweli suli suno supa suwi	17	3	7
<i>t</i>	tan taso tawa telo tenpo toki tomo tu	8	2	4
<i>u</i>	unpa uta utala	3	3	5
<i>w</i>	walo wan waso wawa weka wile	6	3	4

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что количество слов в группах распределено неравномерно: от 2 слов в группе слов с начальным символом «e» до 17 в группе слов с начальным символом «s». Кроме того, доля слов с максимальным количеством символов в слове составляет лишь 1 % от общего объема слов, однако при этом они требуют максимального количества битов для представления их в цифровой форме выбранной кодировки. Так, для ASCII кодировки слово из семи символов будет представлено 56 битами. В среднем слово оригинального словаря языка toki ropa состоит из 3,84 символа, или с округлением до целого числа 31 бит на слово. С учетом применения помехоустойчивых кодов для последующей передачи сообщений по каналам управления данное значение будет расти пропорционально количеству проверочных символов кода или при сверточном кодировании – скорости кода.

Формулировка технической задачи улучшения информационных характеристик сообщений заключается в преобразовании исходных кодовых слов, из которых в дальнейшем формируется информационное сообщение, таким образом, чтобы в конечном счете сокращался объем передаваемой информации или повышалась информационная скорость передаваемых сообщений в каналах управления.

Данная техническая задача решается тем, что слова исходного кода хеш-кодированием преобразуют к словам, состоящим из трех байтовых двоичных комбинаций или после конкатенации данных комбинаций 24-битной последовательности двоичных символов следующим образом.

Предложения из слов S_j соответствующих кодировок последовательных числовых значений символов n_j для языка toki ropa – 14 символов (см. таблицу 1), строки слов преобразуют от первого до последнего символа слова в последовательность из трех чисел B_j вида:

$$B_j = [B_{j1}, B_{j2}, B_{j3}] \tag{1}$$

где B_{j1} – первое число последовательности, B_{j2} – второе число последовательности, B_{j3} – третье число последовательности.

Значение первого числа B_{j1} соответствует десятичному числовому значению кодового знака первого символа слова s_{j1} j -й строки. Значение второго числа B_{j2} рассчитывается выражением:

$$B_{j2} = (\sum_{k=1}^{m_k} n_{jk} w^{k-1}) \text{ mod } R, \tag{2}$$

где n_{jk} – код k -го символа в алфавите символов; m_k – число символов в j -м слове; w – целое число больше или равно 3; mod – функция модуля по основанию R .

Значение третьего числа B_{j3} рассчитывается выражением:

$$B_{j3} = (\sum_{k=1}^{m_k} n_{jk} w^k) \text{ mod } R. \tag{3}$$

Числовые примеры преобразования символьных сообщений в хеш-коды для различных буквенно-знаковых систем письменности представлены в работе [5].

В результате хеш-кодирования каждое слово словаря преобразуется в хеш-слово, состоящее из трех десятичных чисел. Далее полученные хеш-слова проверяют на уникальность для всех слов словаря. В случае обнаружения хеш-слов с одинаковой последовательностью числовых значений из разрешенных символов алфавита языка формируют новое благозвучное или экономное слово таким образом, чтобы общее количество слов в новом словаре по группам было распределено равномерно, т.е. каждая группа слов насчитывала примерно одинаковое количество слов. Неуникальное слово или группу таких слов удаляют из словаря. Получив конечное число уникальных хеш-слов, а соответственно, и слов языка, для дальнейшего кодирования слов в сообщения осуществляют представление каждого десятичного числового значения в двоичную форму, т.е. последовательность из 8 двоичных символов. Далее осуществляют конкатенацию двоичных последовательностей каждого хеш-слова в двоичную числовую последовательность емкостью в 24 двоичных символа. Таким образом, среднее слово отличного от оригинального словаря языка toki ropa составит 3 символа или 24 бита на слово. То есть объем передаваемой информации сократится в среднем на 7 битов на слово.

Для графического отображения слов языка после процедуры хеш-кодирования воспользуемся кодом m -программы для среды MatLab, приведенном в таблице 2. Программа отображает размещение в трехмерном пространстве векторов, которые соответствуют хеш-значениям для каждого из заданных 119 слов (корней) словаря языка toki ropa.

Код программы для MATLAB

m-программа отображения корней в 3D-пространстве

```

cla %очистка рабочей области и области данных
load D:\Tab1.txt;%загрузка содержимого файла tab.txt
%матрица данных, состоящая из 5 столбцов и 119 строк
%первые 3 столбца содержат рассчитанные хеш-значения для i-го корня
%автоматическое присваивание матрице данных имени Tab1
%выделение данных из матрицы по столбцам
nabor_1 = Tab1(:,1); % 119 значений 1-го символа для i-го корня
nabor_2 = Tab1(:,2); % 119 значений 1-го хеш-значения для i-го корня
nabor_3 = Tab1(:,3); % 119 значений 2-го хеш-значения для i-го корня
nabor_4 = Tab1(:,4); % значения, задающие объем отображаемых точек
nabor_5 = Tab1(:,5); % 14 значений для групп корней
scatter3(nabor_1,nabor_2,nabor_3,nabor_4,nabor_5,'filled') % 5D- графика
ax = gca;
ax.XDir = 'reverse';
view(-45,30) % задание проекции отображения фигуры
xlabel('1-й хеш') % подпись X оси графика
ylabel('2-й хеш') % подпись Y оси графика
zlabel('3-й хеш') % подпись Z оси графика
% цвет точки фигуры указывает на её принадлежность к одной из 14 групп
cb = colorbar; % создание цветовой палитры для 14 групп корней
cb.Label.String = 'i-я группа'; % подпись цветовой палитры
set(gcf,'Color',[1 1 1]) % установка белого фона

```

На рисунке 1 представлены результаты отображения векторов хеш-кодирования для оригинального словаря таблицы 1, а также для нового словаря с перегруппированными и частично переименованными словами словаря *toki ropa*, который условно назовем словарем языка *toki ropa d3*. Необходимость добавления символа *d3* к оригинальному названию поясняется тем, что кодовые слова, перегруппированные, частично переименованные и представленные в 24-битной последовательности двоичных символов на слово, отличаются друг от друга в худшем случае на 3 двоичных символа. Минимальное кодовое расстояние, равное 3, определяет корректирующую способность кода [2].

Рисунок 1 указывает на то, что в трехмерном векторном пространстве перегруппированные и частично переименованные слова (см. рисунок 1 б) имеют более разреженную картину и большее Евклидово расстояние между точками, чем у слов оригинального словаря *toki ropa*.

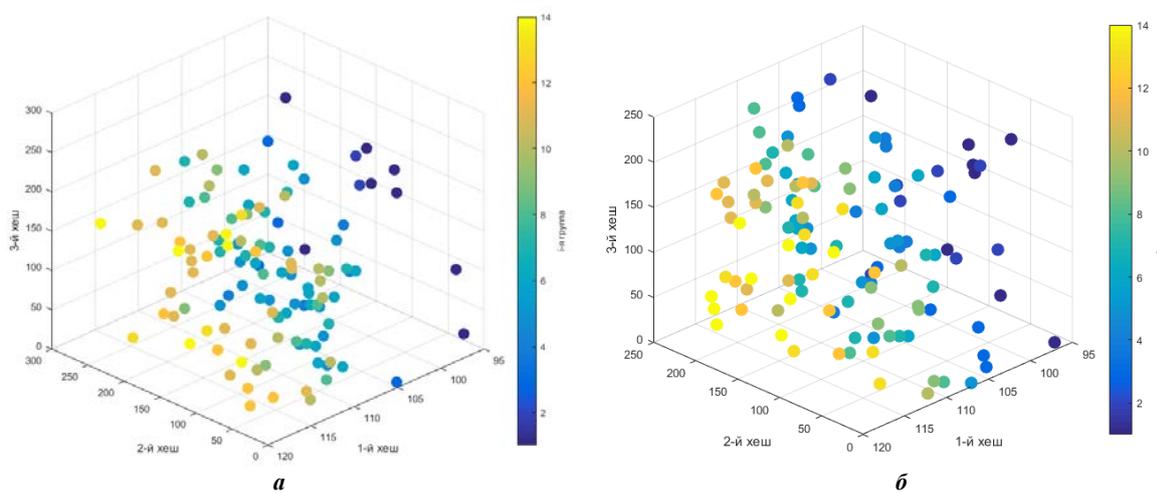


Рис. 1 – Корни языка *toki ropa*: а – оригинальные, б – перегруппированные и частично переименованные

Кроме того, расчет хэш-кодов оригинального словаря для $w=4$ и $R=231$ показал совпадение хэш-слов для слов *pokala* и *poki*, а именно одинаковые числовые значения (112, 72, 249) или после конкатенации двоичных кодов данных значений в последовательность 011100000100100011111001 в двоичной форме. В таблице 2 представлен словарь языка *toki ropa d3* с перегруппированными и частично переименованными словами, где отличные от оригинального словаря слова выделены полужирным шрифтом.

В результате перегруппировки слов и частичного их переименования после хеш-кодирования получили 119 уникальных слов, двоичное представление, которых позволяет добиться в худшем случае минимального кодового расстояния равного 3, т.е. позволяющего без дополнительных проверочных символов, как при помехоустойчивом кодировании, декодировать сообщение по каналам управления, при этом обнаруживать двойные ошибки и (или) исправлять одиночную ошибку в любой кодовой последовательности из 24 битов, т.е. в хеш-кодовом слове из словаря.

Результаты расчета минимального кодового расстояния хэш-кодовых слов покажем на примере *i*-группы слов словаря языка toki pona d3. В таблицу 3 сведены результаты расчета хэш-кодовых слов по выражениям 1–3 с параметрами $w=4$ и $R=231$, результаты преобразования десятичных значений в двоичные, конкатенацию последовательностей B_{j2} и B_{j3} . Так как B_{j1} – первое значение в хэш-коде для единой *i*-группы слов равно 105, то для расчета минимального кодового расстояния достаточно конкатенации B_{j2} и B_{j3} – второго и третьего значений хэш-кодов.

Таблица 2

Словарь языка toki pona d3

Группа слов	Слова (корни)	Количество		
		слов в группе	символов в слове	
			минимальное	максимальное
<i>a</i>	a ala ali ale anpa anti anu awin	8	1	4
<i>e</i>	e en elen epin eja ewa epi ewis	8	1	4
<i>i</i>	ijo ika ike ilo insa iwen inja ikin	8	3	4
<i>j</i>	jaki jan jelo jo jama jala ju jao	8	2	4
<i>k</i>	kala kama kawi ken kili kin ko kon kule kute	10	3	4
<i>l</i>	la lape laso len lete li lili lipu lot lipa	10	2	4
<i>m</i>	ma mom mani meli mi mije mok mun musi mute	10	2	4
<i>n</i>	non nasa nu nena ni nimi noli noka	8	2	4
<i>o</i>	o oko olin oje ol owel ona open	8	1	4
<i>p</i>	pali pana pil pini pipi poka poki pona	8	2	4
<i>s</i>	sama seli selo sike sin sona suno supa	8	3	4
<i>t</i>	tan tako tawa telo tempo toki tomo tu	8	2	4
<i>u</i>	unpa uka use uta uwi ume ulsi unsi upu	9	3	4
<i>w</i>	wa walo wan wako wow wina wika wile	8	3	4

Таблица 3

Результаты расчета *i*-группы слов словаря языка toki pona d3

№ п/п	Слова	B_{j1}	B_{j2}	B_{j3}	Двоичное представление B_j			Конкатенация B_{j2} и B_{j3}
1	<i>ijo</i>	105	226	211	01101001	11100010	11010011	1110001011010011
2	<i>ika</i>	105	6	24	01101001	00000110	00011000	0000011000011000
3	<i>ike</i>	105	70	49	01101001	01000110	00110001	0100011000110001
4	<i>ilo</i>	105	3	12	01101001	00000011	00001100	0000001100001100
5	<i>insa</i>	105	46	184	01101001	00101110	10111000	0010111010111000
6	<i>iwen</i>	105	228	219	01101001	11100100	11011011	1110010011011011
7	<i>inja</i>	105	133	70	01101001	10000101	01000110	1000010101000110
8	<i>ikin</i>	105	13	52	01101001	00001101	00110100	0000110100110100

Результаты расчета минимального кодового расстояния между словами *i*-группы слов словаря языка toki pona d3 сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты расчета минимального кодового расстояния *i*-группы слов словаря языка toki pona d3

d_{min}	Слова								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	-	9	7	11	9	3	9	13	
2	9	-	4	4	4	8	8	6	
3	7	4	-	8	6	8	10	6	
4	11	4	8	-	8	12	6	6	
5	9	4	6	8	-	8	12	6	
6	3	8	8	12	8	-	8	13	
7	9	8	10	6	12	8	-	6	
8	13	6	6	6	6	13	6	-	

Минимальное кодовое расстояние, равное 3, вычисляется между первым и шестым словами *i*-группы слов словаря языка toki pona d3, между остальными словами минимальное кодовое расстояние варьируется от 4 до 13, т.е. остальные слова обладают большей потенциальной способностью к исправлению ошибок в декодированном управляющем сообщении.

Для других групп словаря языка toki pona d3 минимальное кодовое расстояние, равное 3, вычислено для следующих пар слов: (*iwen*; *ijo*), (*pona*; *poki*), (*lili*; *mani*), (*anu*; *walo*), (*la*; *ma*), (*non*; *oko*), (*ma*, *pipi*). Повысить минимальное кодовое расстояние при хэш-кодировании можно лишь последовательно подбирая комбинации слов в словарь, начиная со слов, для которых данное расстояние минимально.

Таким образом, применение процедуры хэш-кодирования к словарю искусственного языка позволило скорректировать его в сторону улучшения информационных характеристик и получить блочное помехоустойчивое кодирование без расширения количества проверочных символов, т.е. при информационной скорости, равной 1, добиться исправляющей способности линейных блочных кодов Хемминга. Кроме того, двоичные последовательности хэш-кодов слов могут использоваться как информационные символы, которые далее способны подвергаться помехоустойчивому кодированию и за счет пропорционального снижения скорости кода повышать потенциальную помехоустойчивость объединенной кодовой конструкции.

Список литературы

1. Гургенидзе, А.Т., Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа [Текст] : Монография / А.Т. Гургенидзе, В.И. Кореш. – СПб.: «Профи», 2006. – 400 с.
2. Хмельков, А.Н., Минеев, В.А., Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах связи [Текст] : Учебное пособие для вузов / А.Н. Хмельков, В.А. Минеев. – СПб.: «Горячая линия - Телеком», 2023. – 360 с.
3. Скляр, Бернард, Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение [Текст] : Пер. с англ. // М. : Издательский дом «Вильямс». 2003. – 1104 с.
4. Toki pona [Электронный ресурс] URL: <http://tokipona.org/nimi.html> (дата обращения 08.01.2024, доступ свободный).
5. Патент РФ №2011151684 МПК G 06 F 17/30, 16.12.2011.

Комолов Дмитрий Викторович, канд. техн. наук, сотрудник, dimkomolov@mail.ru, Россия, Орёл, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации,

Горшков Алексей Анатольевич, канд. техн. наук, сотрудник, gorsch@inbox.ru, Россия, Орёл, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

IMPROVING THE INFORMATION CHARACTERISTICS OF MESSAGES WHEN PROCESSING INFORMATION USING THE HASH ENCODING METHOD

D.V. Komolov, A.A. Gorshkov

Aspects of the use of hash encoding in the processing of information messages are considered using the example of the artificial language toki pona. The subject of the study of this work is to evaluate the information characteristics of messages generated in the toki pona language, the applicability of the message hash encoding procedure to reduce the amount of information or increase the information speed of messages transmitted in control channels.

Key words: marking, hash encoding, information characteristics, hash words.

Komolov Dmitriy Victorovich, candidate of technical sciences, employee, dimkomolov@mail.ru, Russia, Orel, Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation,

Gorshkov Aleksey Anatol'yevich, candidate of technical sciences, employee, gorsch@inbox.ru, Russia, Orel, Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation

УДК 621.396

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-239-240

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА МЕСТА НИЗКОЛЕТЯЩЕЙ ЦЕЛИ В РЛС

С.А. Курбатский

Приведены результаты синтеза математической модели дискретного случайного процесса, представляющего собой измерения угла места низколетящей цели в РЛС для ее использования в алгоритме совместного оценивания параметров и состояния такой модели. Показано, что некоторые параметры модели должны задаваться априорно в виде компромиссных констант, найденных в процессе обработки реальных данных телеметрии для низколетящих целей в различных условиях переотражений. Поскольку получившаяся таким образом модель оказывается нелинейной, то для оценивания ее вектора состояния требуется использовать нелинейный фильтр.

Ключевые слова: дискретный случайный процесс, формирующий фильтр, корреляционная функция, фильтр Калмана.

Анализ существующих способов компенсации ошибок в измерениях угла места низколетящих целей (НЛЦ) при многолучевом распространении радиоволн показывает [1-5], что наиболее эффективными являются математико-статистические способы, сводящиеся к фильтрации цветного шума в сигнале измерений угла места на этапе вторичной обработки измерений (ВОИ) в РЛС.

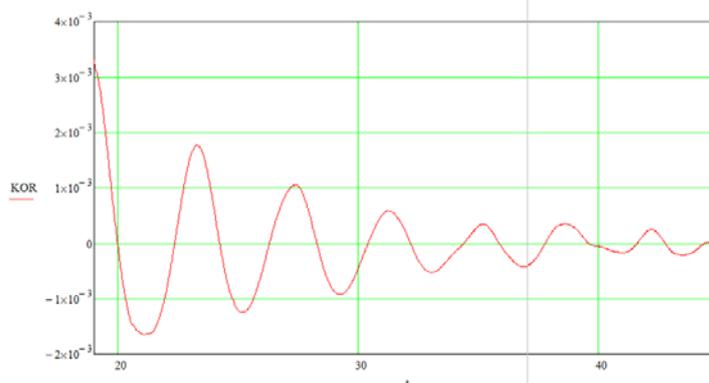
При этом модель для многолучевого распространения радиоволн строилась путем дополнения исходной модели изменения высоты цели специальной линейной динамической системой (формирующим фильтром), которая преобразовывала стандартный гауссовский белый шум в цветной с требуемыми характеристиками.

Представляет определенный интерес синтез математической модели дискретного случайного процесса, представляющего собой измерения угла места низколетящей цели в РЛС для ее использования в алгоритме совместного оценивания параметров и состояния такой модели. Алгоритм предусматривает по результатам текущих измерений в реальном масштабе времени выделение двух составляющих этого процесса: медленно изменяющуюся составляющую, являющуюся оценкой истинного угла места цели и периодическую составляющую, являющуюся следствием переотражений от поверхности.

Будем рассматривать измеренный приемной антенной РЛС сигнал угла места в качестве некоторого дискретного случайного процесса, скомбинированного из трех составляющих: постоянной или очень медленно изменяющейся детерминированной компоненты, по сути, являющейся истинным углом места цели; автокоррелированного (цветного) случайного сигнала с прослеживаемой периодичностью, являющегося следствием переотражений от поверхности; нормально распределенного белого шума с нулевым средним, причинами возникновения которого являются собственные шумы антенны, а также множество других внешних факторов, способных внести погрешности в измерения [1,6].

Из-за различного характера переотражений на суше и на море, зависящего от погоды, волнения моря и многих других факторов, в том числе ЭПР, дальности до цели, её скорости и т.п., заранее аналитически определить параметры такой модели крайне затруднительно. Поэтому приходится использовать алгоритмы совместного оценивания параметров и состояния, которые позволяют по текущим измерениям одновременно оценивать интересующие сигналы и при этом подстраивать параметры адаптивной модели, таким образом, чтобы минимизировать средне-квадратические ошибки всех оценок одновременно [2,5].

Корреляционная функция характерного дискретного случайного процесса измерений угла места низколетящей цели имеет вид колебательной функции, показанной на рисунке, что полностью соответствует данным работ [1,3,6] о влиянии многолучевого распространения радиоволн на измерения угла места низколетящей цели в условиях преобладающего зеркального отражения.



Корреляционная функция измерений угла места РЛС

Известно, что любой случайный процесс может быть получен из нормально распределенного белого шума с нулевым средним и единичной дисперсией путем пропускания его через линейную динамическую систему, т.н. формирующий фильтр [3]. При этом параметры процесса будут определяться видом и параметрами такой линейной динамической системы. Так, процессы с явно выраженной периодичностью (см. рисунок) могут быть успешно аппроксимированы элементарным линейным колебательным звеном второго порядка, описываемым следующим дифференциальным уравнением [6,8]:

$$\ddot{\theta}(t) + 2\mu \cdot \dot{\theta}(t) + b^2 \cdot \theta(t) = 2 \cdot b \cdot \sqrt{A \cdot \mu} \cdot \omega(t), \quad (1)$$

где $\theta(t)$ - значения автокоррелированного случайного процесса в момент времени t ; μ - коэффициент, определяющий степень нерегулярности колебаний процесса; A - коэффициент, характеризующий интенсивность колебаний процесса; b - коэффициент, вычисляемый по формуле: $b = \sqrt{\mu^2 + \lambda^2}$, где λ - преобладающая частота колебаний в процессе; $\omega(t)$ - скалярный белый шум с интенсивностью (дисперсией) $Q=1$.

Для упрощения компьютерной реализации непрерывная линейная динамическая система в виде дифференциального уравнения (1) может быть заменена эквивалентной дискретной моделью в пространстве состояний следующего вида [2,3]:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{\Phi}(T_0)\mathbf{x}(k) + \mathbf{\Gamma}(T_0)\omega(k), \quad (2)$$

$$z(k+1) = \mathbf{H} \cdot \mathbf{x}(k+1) + v(k+1), \quad (3)$$

где $\mathbf{x}^T(k) = [\theta(k) \quad \dot{\theta}(k)]$ - вектор состояния в модели в каждый дискретный момент времени k ; $\mathbf{\Phi}(T_0) = \begin{bmatrix} 1 & T_0 \\ -b^2 T_0 & 1 - 2T_0 \cdot \mu \end{bmatrix}$ - переходная матрица состояний; $\mathbf{\Gamma}(T_0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 2T_0 \cdot b \cdot \sqrt{A \cdot \mu} \end{bmatrix}$ - матрица преобразования входного белого шума $\omega(t)$; $z(k)$ - скалярное измерение (в данном случае измерение моделируемого цветного сигнала); $\mathbf{H} = [1 \quad 0]$ - матрица измерений; $v(k)$ - белый нормально распределённый шум, зависящий от величины погрешностей измерений моделируемого сигнала, T_0 - период дискретизации.

Поскольку ранее было сделано предположение, что в измеряемом РЛС угле места вместе с цветным шумом содержится и полезный сигнал (постоянный или медленно изменяющийся истинный угол места цели $\varepsilon(k)$), то модель вида (2)-(3) следует расширить добавив в вектор состояния этот полезный сигнал. При этом результирующая модель также будет задаваться общими векторно-матричными уравнениями в пространстве состояний вида (2)-(3). Однако, порядок ее возрастет до трех, а вектор состояния и системные матрицы примут вид:

$$\mathbf{x}(k) = \begin{bmatrix} \varepsilon(k) \\ \theta(k) \\ \dot{\theta}(k) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{\Phi}(T_0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & T_0 \\ 0 & -b_2 T_0 & 1 - 2T_0 \cdot \mu \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{\Gamma}(T_0) = \begin{bmatrix} g_1 \\ 0 \\ 2T_0 \cdot b \cdot \sqrt{A \cdot \mu} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{H} = [1 \quad 1 \quad 0]. \quad (4)$$

В системной матрице измерений \mathbf{H} первые два элемента имеют значение 1, поскольку изначально было сделано предположение о том, что измерению подвергается реальный угол места $\varepsilon(k)$, искаженный авторрелированным процессом $\theta(k)$, являющимся следствием переотражений, плюс белый шум $v(k)$. Единица в первой строке переходной матрицы состояний $\Phi(T_0)$ отражает предположение о том, что реальное значение угла места в следующий дискретный момент времени $\varepsilon(k+1)$ равно его значению в предыдущий дискретный момент времени $\varepsilon(k)$. Однако, наличие в матрице $\Gamma(T_0)$ параметра g_1 позволяет за счет добавления части сигнала единичного белого шума $\omega(t)$ к значению $\varepsilon(k)$ учесть возможность небольшого плавного маневра цели по углу места за промежуток времени дискретизации модели T_0 .

К модели вида (2), (3), (4) можно было бы применить линейный алгоритм фильтрации Калмана, и с его помощью по текущим измерениям угла места в РЛС, искаженным переотражениями и белыми шумами измерений, оценить по отдельности значения истинного угла места, а также низкочастотных искажений и их первых производных.

Однако, для этого необходимо иметь точные значения четырех параметров A , b , μ и g_1 в каждый момент времени k . Однако, первые три из этих четырех параметров связаны с физическими процессами переотражений луча, которые не отличаются регулярностью и стационарностью. Поэтому задать законы их изменения во времени с достаточной степенью точности в различных ситуациях сопровождения низколетящих целей по результатам априорного анализа представляется крайне затруднительным. Последний параметр g_1 связан с характером маневрирования цели.

Поэтому предлагается воспользоваться методом совместного оценивания параметров и состояния модели вида (2), (3), (4), для чего следует произвести еще одно расширение ее пространства состояний, добавив в него два из четырех неизвестных параметров: b и μ . Параметры A и g_1 оценить таким способом невозможно, ввиду их принципиальной неидентифицируемости.

Этот факт объясняется тем, что они входят исключительно в матрицу $\Gamma(T_0)$, элементы которой по одним измерениям угла места оценить невозможно. Поэтому параметры должны задаваться априорно в виде некоторых компромиссных констант, найденных в процессе обработки реальных данных телеметрии для различных низколетящих целей в различных условиях переотражений.

Заметим, что увеличение параметра g_1 будет приводить к более точному отслеживанию моделью интенсивных маневров цели. Однако, при этом в оценке угла места будет увеличиваться амплитуда чисто случайной составляющей, т.е. возрастает её дисперсия, а, значит, будут ухудшаться фильтрующие свойства алгоритма относительно белого шума. Таким образом, для параметра g_1 следует найти некоторое компромиссное решение, которое с одной стороны позволяло бы достаточно хорошо отслеживать плавные маневры типовых низколетящих целей по высоте, а с другой стороны не увеличивать слишком сильно дисперсию оценок угла места.

Что касается параметра A , то его априорно заданное значение будет меньше влиять на работу фильтра, поскольку он входит в матрицу $\Gamma(T_0)$ в виде выражения совместно с параметрами b и μ . Следовательно, его не совсем корректное задание может быть скомпенсировано текущими оценками параметров b и μ .

Окончательно расширенная динамическая модель в пространстве состояний пятого порядка вида (2), (3) может быть представлена следующим набором векторов и матриц:

$$\mathbf{x}(k) = \begin{bmatrix} \varepsilon(k) \\ \theta(k) \\ \dot{\theta}(k) \\ b(k) \\ \mu(k) \end{bmatrix}; \quad \Phi(T_0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & T_0 & 0 & 0 \\ 0 & -b(k)^2 \cdot T_0 & 1 - 2T_0 \cdot \mu(k) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\Gamma(T_0) = \begin{bmatrix} g_1 \\ 0 \\ 2T_0 \cdot b(k) \cdot \sqrt{A \cdot \mu(k)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{H} = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]. \quad (5)$$

Поскольку получившаяся таким образом модель (2), (3), (5) оказывается нелинейной (компоненты вектора состояния $b(k)$ и $\mu(k)$ одновременно входят в элементы матрицы Φ , на которую он умножается согласно уравнению (2)), то для оценивания ее вектора состояния требуется использовать нелинейный фильтр.

Таким образом, разработана математическая модель дискретного случайного процесса, представляющего собой измерения угла места низколетящей цели в РЛС. Модель позволяет заранее определять параметры инициализации фильтра, зависящие от конструктивных характеристик РЛС, методами имитационного моделирования.

Список литературы

1. Курбатский, С.А. Алгоритм трассового сопровождения низколетящих целей в моноимпульсных РЛС на основе сигма-точечного фильтра/Хомяков А.В., Курбатский С.А., Грачев А.Н. // Радиотехника и электроника.- Т.6, №2., 2021 . С.155-161.
2. Курбатский С.А., Румянцев В.Л., Акиншин О.Н. Методика и схемы обработки радиолокационных сигналов, отражённых от надводных объектов// Известия ТулГУ. вып.5. - Тула: ТулГУ, 2020. С. 195-201.
3. Понятский В.М. Разработка алгоритмов параметрической идентификации динамического объекта на основе теории фильтрации Калмана // Известия Тульского государственного университета. Вып 2. 1999. С. 256-259.
4. Abraham D. A. Detection-Threshold Approximation for Non-Gaussian Backgrounds / IEEE Journal of Oceanic Engineering. Vol. 35. No. 2, 2010. - Pp. TBD.
5. Милащенко Е. А., Валеев В. Г. Исследование характеристик обнаружения мелких морских целей с учетом негауссовских морских отражений // VII Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь». Сборник трудов, 2013. С. 88-92.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М: Радио и связь, 1989. 653 с.
7. Ward K. Sea clutter: scattering, the K-distribution and radar performance / K. Ward, R. Tough, S. Watts. 2nd edition. Croydon.: SPI Group Ltd, 2013. 586 p.
8. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория. Справочник под редакцией профессора Я. Д. Ширмана. М.: ЗАО Маквис, 1998. 825 с.

Курбатский Сергей Алексеевич, заместитель генерального директора – начальник, cdbae@cdbae.ru, Россия, Тула, НТК АО ЦКБА

A MATHEMATICAL MODEL FOR MEASURING THE ANGLE OF A LOW-FLYING TARGET IN RADAR

S.A. Kurbatsky

The results of the synthesis of a mathematical model of a discrete random process, which is a measurement of the angle of a low-flying target in a radar for its use in an algorithm for jointly estimating the parameters and state of such a model, are presented. It is shown that some parameters of the model should be set a priori in the form of compromise constants found during the processing of real telemetry data for low-flying targets in various conditions of re-reflections. Since the resulting model turns out to be nonlinear, a nonlinear filter must be used to estimate its state vector.

Key words: discrete random process, forming filter, correlation function, Kalman filter.

Kurbatsky Sergey Alekseevich, associate director – head, cdbae@cdbae.ru, Russia, Tula, NTC JSC CDBAE

УДК 621

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-242-243

СОВРЕМЕННАЯ ТЕЛЕФОНИЯ - ОТ ТЕЛЕФОНИСТОК К ИСКУССТВЕННОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ

С.Л. Горобченко, Д.А. Ковалев, С.А. Войнаш, Г.К. Парфенопуло, Р.И. Кочубей

В работе рассматриваются вопросы развития телефонии в контексте ее места в общем развитии телекоммуникационных систем и взаимодействия в системе "человек - цифровая среда - искусственный интеллект". Показаны основные достижения, влияющие на развитие современной телефонии. Дан исторический обзор и показаны истоки современного состояния телефонии и перехода к смарт телефонии и искусственному интеллекту. Показаны основные направления и пока еще нераскрытые для широкого пользования возможности искусственного интеллекта в телефонии.

Ключевые слова: современная телефония, телекоммуникационные системы, цифровая среда, искусственный интеллект, основные направления использования.

Существенные изменения в телефонии, произошедшие от начала создания первых телефонных сетей до сегодняшних высокоразвитых телекоммуникационных сетей требуют серьезного переосмысления задач, которые стоят перед современной телефонией. Это невозможно осуществить, если, с одной стороны, - не видеть главных надсистемных трендов всех видов коммуникаций, а с другой - не опираться на знание инфраструктуры существующих и даже прошлых систем телефонии. Только в этом случае можно лучше обозначить основные задачи развития телефонии на сегодняшний день, и показать переходные и остаточные процессы в появлении в массовом использовании достижений телекоммуникационных систем с общим направлением на широкое внедрение искусственного интеллекта.

Статья посвящена анализу современных систем телефонии и обозначению приоритетных путей ее развития на основе внедрения искусственного интеллекта в контексте современных достижений в цифровых (теле и информационных коммуникациях) и общего развития телекоммуникационных систем.

Литературный обзор. Задачи перехода от простых телефонных систем связаны с решением многих вопросов. К ним можно отнести такие надсистемные вопросы как развитие приложений интернета вещей к телефонии [1], большому внедрению чат-ботов, в частности, чат-ботов банковского обслуживания [35]. В более глубоком плане эти вопросы будут связаны с программами и проектами развития квантовых коммуникаций [43] и совершенствованием применения возможностей искусственного интеллекта к телефонии [45].

Многие задачи совершенствования телефонии связаны с развитием имитационного моделирования в системах обработки и передачи информации, включая беспроводную телефонию [15], расчетами вероятности ошибок в системах [2, 12], рассмотрением особенностей создания сенсорных сетей как части перехода к четвертому поколению мобильной связи [3], лучшим пониманием требований к фильтрации сигналов [4].

Задачи развития телекоммуникаций ставятся с целью оптимизации и создания современных моделей, включая топологию телекоммуникационной сети [5,8], поиск перспективных носителей информации [6], нахождения оптимальных процессов при обучении многослойных нейронных сетей, характерных для телекоммуникационных систем, с анализом ошибок в каналах связи [7,16].

Развитие разветвленности сетей телефонии и телекоммуникаций напрямую связано с выбором оптимальных протоколов маршрутизации [9], включая разработки протоколов совместных вычислений, реализующих объединение пользователей по группам [13], развития масштабированных защищенных мультисервисных сетей связи [10], определения долговременных характеристик трафика на основе выделения элементов самоподобия [11]. Отдельные задачи стоят по анализу эволюции сетей синхронизации [14].

В многоканальных телекоммуникационных сетях большое внимание уделяется управлению распределением трафика на смежных уровнях сетевой архитектуры [17], а также прогнозированию и разработке сценариев функционирования кооперативных сетей [19], разработке аналитических моделей процессов передачи и обработки потоков в мультисервисных сетях связи [20] и особенно применению системного моделирования телекоммуникационных систем и технологий на основе интеллектуальных платформ компьютерной телефонии с принятием решений [23]. Развитие мультисервисных сетей способствует и то, что они во многом являются серьезным фактором спроса на услуги связи [38].

Применение интеллектуальных технологий в свою очередь создает возможности для развития новых технологий и созданию новых услуг связи [24]. К ним можно отнести многочисленные создаваемые программно-конструкторы для создания чат-ботов [25], внедрение технологий 5G одновременно с внедрением элементной базы для абонентского обслуживания [27] и большую проектную конкретизацию обрисовывающихся контуров сетей следующего поколения сетей 6G [29]. В частности, продвинутая сеть 5G по сути становится эволюционной основой для создания сетей 6G [39]. Значительную роль в организации работы телефонных и телекоммуникационных сетей нового поколения играет обучение специалистов [19].

С развитием телекоммуникационных и телефонных сетей встают вопросы стандартизации в таких сетях. Особенно это становится заметным с ростом использования инфокоммуникационных сетей [21], а также разработкой методик информационной безопасности сетей телефонии в условиях несанкционированного доступа, инфраструктурных атак и защиты от телефонных мошенников [22, 26,27].



Рис.1. Телефонная станция начала 20-го века

В некотором плане исследователи задают и философские вопросы работы искусственного интеллекта в сетях телефонии, в частности, связанных с пространственным структурированием сетей [30], в связи с чем вновь приходится обращаться к историческим аналогиям в развитии телекоммуникационных и телефонных сетей [31], вырабатывать новые визионерские модели видения будущего в эпоху коллективного разума [32]. Выявляются глобальные модели и характер цифровой трансформации моделей инфокоммуникационного бизнеса [36]. На основе хронологической ретроспективы анализируется становление и развитие средств, методов и технологий создания инфокоммуникационных систем в современном обществе [37]. Значительную роль в понимании этого вопроса играют реальные наработки в развитии системы "человек - цифровая среда" [40]. Перспективным приложением в этом плане являются современные модели и методы когнитивной науки [42], в частности развитие речевых исследований в разрезе телекоммуникаций. Одним из интересных направлений в формировании представлений о взаимодействии человека с цифровой средой является оптимизация взаимодействия человека и искусственного интеллекта на основе стандартизированных коммуникационных правил [46]. Новые технологии также приводят к глобальному изменению инфраструктуры инфокоммуникаций и становлению информационного компаний и общества в целом [47-49].

Выделение регионального акцента в развитии телекоммуникационных сетей продуцирует и новые модели прогнозирования тенденции в развитии сетей связи, во многом связанных с нечетко-логическими моделями прогнозирования [33], более глубокому определению и анализу достоинств использования технологий 5G [34]. Этот вопрос часто выходит за пределы регионального анализа сетей и обобщается до пространственной диффузии цифровых инноваций в различные сообщества [41].

Исторический обзор. Первые телефонные станции начали работу 13 июля 1882 года в Петербурге, Москве, Одессе и Риге. Спустя несколько лет были оборудованы и открыты телефонные сети в Нижнем Новгороде, Либаве, Ревеле, Ростове-на-Дону и Баку. Установкой занималась контора предпринимателя и инженера Владимира Оттомаровича фон-Баранова, по заказу правительства Российской Империи.

Первые телефонные станции в России работали с однопроводными абонентскими линиями емкостью 50 номеров каждая. На каждой станции работали одновременно несколько и более телефонисток, соединявших абонентов.



Рис.2. Зал телефонной станции. Санкт-Петербург, начало 20-го века

Большинство функций, ранее выполняемых телефонистками, было автоматизировано, и современные АТС выглядят так, как показано на рис.1 и 2.



Рис.3. Современная мини АТС

Современная коммуникационная платформа АТС, устанавливаемая в абонентские стойки, для удобного обслуживания имеет разные платы расширения на разное количество абонентов.

Смарт телефония. Первая автоматическая телефонная станция (АТС) была разработана отечественными учеными и инженерами в 1983 г. на базе кафедры прикладной физики при Новороссийском университете. Она могла обслуживать 2500 номеров абонентов. Новинка в сфере телефонии была запатентована в 1985 г. Уже через год разработчикам удалось расширить диапазон абонентов для обслуживания до 1000 номеров.

АТС - это автоматическая телефонная станция - разновидность IP-телефонии, облегчающая труд многих специалистов и разработанная для эффективного управления жизнедеятельностью любой компании. АТС представляет собой отдельное устройство или совокупность связанных между собой устройств для обеспечения автоматического предоставления телекоммуникационных услуг абонентам, подключенным к станции. Для взаимодействия абонентов и АТС используются оконечные терминальные устройства. Под телекоммуникационными услугами понимается совершение вызова.

Все виды АТС могут объединяться в локальную сеть. Основное предназначение любой автоматической станции - прием сообщений, их обработка и обеспечение коммуникации между абонентами с учетом полученной информации. Вне зависимости от типа подключения терминальных устройств телекоммуникация возможна как внутри сети, так и с внешними абонентами.

Каждому абоненту присваивается собственный уникальный идентификатор - номер. Количество цифр зависит от объема базы данных. При вызове АТС определяет, с каким именно аппаратом будет установлена связь. Каждая линия имеет собственный номер, и все линии сходятся на телефонной станции, где размещено оборудование, позволяющее производить поиск номеров и соединение различных линий.

Основные функции АТС:

управление телекоммуникационными услугами, включая базовый вызов и дополнительное обслуживание; обеспечение приема и обработки сигнальных данных; управление коммутатором внутри сети;

определение номера того абонента, который совершает вызов;

маршрутизация всех вызовов;

тарификация и сбор статистики;

эксплуатация, техобслуживание и управление.

От функционала автоматических телефонных станций напрямую зависит качество сигнала при передаче информации. Также они обеспечивают необходимый уровень безопасности и предотвращают любую утечку данных, при этом вероятность прослушивания разговоров стремится к нулю.

Существуют три вида АТС для организации телефонного общения. Условно они делятся на 3 группы:

аналоговые;

цифровые;

гибридные, объединяющие черты первых двух типов.

Аналоговые АТС. Аналоговые мини АТС работают на TDM-технологии с классической канальной системой соединения самой АТС и системных телефонных аппаратов, по сути, центра администрирования и периферийных устройств. Для передачи аудиосигнала используется стандартная проводная схема, характеризующаяся чистым и качественным звуком, относительной изолированностью сети. Недостатки таких станций - наличие ограничений по числу линий и необходимость монтажа километровых проводов (которые в идеале нужно скрыть под обшивкой).

Цифровые IP АТС (Облачные). IP-АТС функционирует с привлечением интернет технологий. Происходит интеграция компьютерных и телефонных сетей, что обеспечивает передаваемым сообщениям режим удаленности и многозадачности. Соединение абонентов происходит через IP-протокол, поэтому расстояние между участниками разговора может быть любым. В отличие от TDM-телефонии с ее канальной коммуникацией и физическим каналом внутри сети между абонентами, IP-телефония пользуется пакетными коммуникациями без привязки к какому-либо каналу.

Гибридные АТС. Гибридные АТС используют все преимущества TDM-технологии и цифровой телефонии, являясь реализацией проекта по переходу от устаревающих технологий к более современным.

Мини АТС и офисная связь. Обслуживание классических телефонных станций охватывает большую массу абонентов, проживающих на больших расстояниях друг от друга. В рамках одной компании устройство такой сети трудоемко и затратно. Поэтому для обеспечения связи работников между собой зачастую монтируется упрощенная версия телефонной станции, мини АТС.

Цель установки мини АТС - экономия денег и времени. Абоненты такой сети помимо общения с внешним миром получают ряд дополнительных возможностей:

собственную локальную телефонную сеть;

удобный сервис, не нуждающийся в сложном обслуживании;

повышение имиджа компании.

Стандартная телефония лишена ряда полезных функций. Например, подключившийся к мини АТС и получивший собственный внутренний номер для вызова абонент помимо общения с внешними номерами, может использовать такие возможности, как:

организация конференцсвязи;

формирование микросетевой локальной сети.

Возможности мини АТС широки. Она обеспечивает связь внутри компании и за ее пределами. Интеграция системы требует времени и финансовых вложений, объем которых зависит от сложности монтажных работ.

Мини АТС способна обеспечить выполнение следующих функций:

одновременный диалог сразу нескольких абонентов без установки параллельных телефонных аппаратов;

распределение поступающих вызовов - актуально для организации работы службы технической поддержки;

ки;

удержание звонка с проигрыванием абоненту музыки, необходимость данной функции часто продиктована выяснением всех обстоятельств и причин (когда абонент, например, просит с чем-то разобраться);

перехват вызова свободным сотрудником;

переадресация звонка при отсутствии специалиста на рабочем месте - поступающий вызов может быть перенаправлен на его личный мобильный номер;

организация конференцсвязи и проведение иных корпоративных совещаний по телефону;

режим день/ночь с поступлением вызовов в нерабочее время на пост охраны;

автосекретарь с голосовым меню - помощником;

тарификация всех вызовов;

система записи телефонных разговоров;

громкое голосовое оповещение всех сотрудников офиса. Данная функция дает возможность осуществить голосовое оповещение для всех сотрудников посредством внешних динамиков или с помощью встроенных спикеров системных телефонных аппаратов.

Включение перечисленных функций в комплектации мини АТС по-прежнему еще слишком широко для массового абонента и в современных условиях использования чаще всего уточняется компаниями - поставщиками под индивидуальные потребности абонента.

Аппараты мини АТС могут иметь подключение к домофону, компьютеру, факсу, принтеру и пр. По своей емкости офисные мини АТС делятся на микро и мини - разновидности.

Первый тип микро АТС подходит для офисов небольшого размера, чаще всего расположенных в одном помещении и работающих по одному, конкретному направлению, например, прием заявок. В этом случае перепла-

чивать за сложное оборудование сети нет смысла, минимальная комплектация станции способна удовлетворить текущие потребности бизнеса.

Основное преимущество мини АТС - забота о клиентах: абонент дозванивается на многоканальный телефон и может сразу подключиться к нужному специалисту, вводя его добавочный номер (внутренний номер). Это сокращает время ожидания ответа до минимума и облегчает коммуникации. Ниже приведен перечень преимуществ мини АТС:

- перевод входящего звонка на свободного сотрудника;
- автоматическое переключение вызова на автоответчик или факс;
- проведение внутри сети корпоративных телефонных переговоров;
- формирование сокращенных номеров, обеспечивающих быстрый набор;
- переадресация вызовов;
- обеспечение громкой связи в пределах офиса (объявления);
- подключение различных устройств к станции.

Все перечисленные возможности помогают организовать офисную деятельность на самом высоком уровне. Принцип работы мини АТС основывается на функционировании центра коммуникаций - базы, использующей при подключении обычные телефонные кабели. Каждому абоненту в сети присваивается добавочный номер (внутренний короткий номер), для связи с ним достаточно набрать эту комбинацию и общаться с коллегой из другого подразделения, при этом не занимают городские линии для входящих звонков.

Искусственный интеллект в телефонии. Телефония сегодня - это не только средство общения, но и поле для новых технологических достижений. Ведущей инновацией сегодняшнего дня является искусственный интеллект (ИИ), который с каждым годом все более активно используется в телефонной связи.

Искусственный интеллект (ИИ) - это термин компьютерной науки, описывающий машины и программное обеспечение, которые могут думать и учиться, как люди. ИИ можно использовать для автоматизации процессов, для работы в качестве советчика или принятия решений. ИИ имеет потенциал для революционного изменения того, как используются телекоммуникационные услуги.

Рассмотрим, как ИИ меняет способ нашего общения и его потенциальное применение в телефонии, а также некоторые проблемы, связанные с его внедрением. Искусственный интеллект в телефонии предоставляет новые возможности для пользователя. Он может обрабатывать большой объем данных, выявлять повторяющиеся паттерны в разговорах, анализировать информацию о клиентах и предсказывать их желания. Все это позволяет более быстро и точно решать задачи и удовлетворять информационные потребности клиентов.

Среди наиболее популярных технологий ИИ в телефонии можно выделить голосовые помощники. Они обучены распознавать речь и голосовые команды пользователей, отвечать на вопросы и выполнять команды. Такие помощники упрощают жизнь пользователям и позволяют быстро находить нужную информацию.

Еще одной технологией ИИ в телефонной связи является анализ метрик звонков. Он также позволяет на основе данных о звонках определить эффективность маркетинговых кампаний, выявить проблемы в работе сотрудников и улучшить качество обслуживания клиентов.

Несмотря на все преимущества ИИ в телефонной связи, он все еще имеет свои ограничения. Например, он не может на 100% точно распознать человеческую речь, что может приводить к ошибкам и затруднениям в понимании и смысле речи абонентов между собой. Кроме того, некоторые пользователи могут не желать общаться с голосовыми помощниками или предпочитать общение с живыми операторами.

Потенциал ИИ в изменении методов общения. Для максимальной экономии времени и сокращения длительности передачи информации от руководителя к исполнителю требуется грамотно организованная внутренняя связь. ИИ уже внес значительные улучшения в то, как происходит общение с помощью услуг телефонии. Автоматизированные системы обслуживания клиентов на базе ИИ были внедрены многими компаниями, чтобы сократить расходы, связанные с представителями службы поддержки. Эти системы способны интерпретировать естественный язык клиентов и давать точные ответы в режиме реального времени.

Кроме того, технология голосовой аналитики может использовать алгоритмы машинного обучения для анализа разговоров с клиентами и направления их в соответствующие отделы для дальнейшего решения. Например, автоматизированная система ИИ может приветствовать клиента по имени, когда он набирает номер на линии колл-центра, распознавать его по номеру телефона и делать предложения на основе его прошлых покупок или другой истории взаимодействия с вашим бизнесом. Поскольку клиенты все больше привыкают к персонализированному взаимодействию, которое повышает ценность их опыта, это постепенно становится необходимым для любого бизнеса, стремящегося опередить конкурентов в современном цифровом мире.

Интеллектуальные системы (интерактивный голосовой ответ) также становятся все более популярными, поскольку они способны обеспечить высоко персонализированное обслуживание клиентов без участия человека. Это помогает повысить удовлетворенность клиентов и одновременно снизить операционные расходы, связанные с ручными процессами маршрутизации вызовов. Кроме того, технологии на базе ИИ могут использоваться для повышения безопасности, например, для автоматического обнаружения мошенничества и фильтрации спама при входящих звонках или сообщениях, передаваемых по телекоммуникационным сетям.

Преимущества и проблемы использования ИИ для телекоммуникационных услуг. Использование ИИ в телефонии дает многочисленные преимущества, такие как повышение эффективности, экономия средств, улучшение мер безопасности и повышение качества обслуживания клиентов при меньших затратах по сравнению с традиционными методами управления услугами связи. Кроме того, это позволяет предприятиям быстро реагировать на меняющиеся требования потребителей или тенденции, что позволяет им оставаться конкурентоспособными на соответствующих рынках.

Существуют определенные проблемы, которые необходимо решить при внедрении решений на основе искусственного интеллекта для телекоммуникационных целей. Технические вопросы, такие как конфиденциальность данных, масштабируемость, точность, наличие места для хранения данных и совместимость, должны быть приняты во внимание до начала внедрения. Кроме того, необходимо обеспечить надлежащее обучение, чтобы пользователи знали, как лучше использовать эти решения искусственного интеллекта. Наконец, необходимо повысить осведомленность предприятий о потенциальных преимуществах использования этой технологии, чтобы они понимали, почему инвестиции в нее принесут пользу их деятельности, как в финансовом, так и в операционном плане.

Закключение. Новые достижения в телекоммуникациях и информационном обеспечении все больше влияют на современную телефонию. Так, искусственный интеллект стал неотъемлемой частью современных телекоммуникационных услуг благодаря своей способности повышать эффективность и снижать затраты, связанные с трудоемкими ручными процессами и обеспечением повышения качества инфокоммуникации.

Применение искусственного интеллекта, безусловно, становится новой ступенью в развитии технологий телефонии связи, при этом сама телефония из самостоятельного вида связи в большей степени становится подсистемой более общей системы телекоммуникаций на основе мультисервисных сетей.

Несмотря на некоторые технические проблемы, возникающие при смене инфраструктуры сетей, а также необходимости "подтягивания" массового абонента до требований пользования инфосетей с применением искусственного интеллекта, необходимостью обучения абонентов и повышения квалификации операторов сетей, уже появились истории успеха компаний и целых государств, успешно использующих эту технологию в своих интересах.

Список литературы

1. Кос А., Кучерявый А.Е., Костин А.А. Приложения интернета вещей // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 32-38.
2. Гуревич В.Э., Пушкина Е.О. Методика расчета вероятности ошибки в радиосистеме с OFDM // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 82-86.
3. Дементьев О.В. Сенсорные сети как часть концепции четвертого поколения мобильной связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 87-90.
4. Дёшина Н.О., Авгари Ф.С.А., Кирик Д.И., Кубалова А.Р., Рыжикова Т.А. Аппроксимация характеристик при синтезе фильтров Баттерворта // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 91-100.
5. Кирик Д.И., Кузнецова О.В., Тарасов О.М. Оптимизированное моделирование топологии телекоммуникационной сети // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 134-139.
6. Никамин В.А. Перспективные носители информации // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 154-159.
7. Архангельский А.А. Аперидические процессы при обучении многослойных нейронных сетей // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 187-190.
8. Бузюков Л.Б., Окунева Д.В. Анализ модели сенсорной сети при неравномерном распределении устройств // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 200-203.
9. Варельджян К.С., Фицов В.В. Сравнение протоколов маршрутизации AD HOC сетей // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 213-218.
10. Воробьев И.Г., Лисейкин Р.Е., Ткачев Д.Ф. Концептуальные подходы к построению региональной защищенной мультисервисной сети связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 222-224.
11. Выборнова А.И., Кучерявый А.Е. Методы определения степени самоподобия и долговременной зависимости трафика // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 230-235.
12. Когновицкий О.С., Буданов А.В. Проблемы использования кодов Фибоначчи в телекоммуникациях для борьбы с ошибками // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 268-278.
13. Коржик В.И., Прилепа А.А. Исследование протокола совместных секретных вычислений, реализующего объединение пользователей по группам // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 283-286.
14. Лобастова М.В. Эволюция сетей синхронизации // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 296-299.
15. Небаев И.А., Масс М.А. имитационное моделирование системы обработки и передачи информации на основе ФМ-2 и сверхточных кодов для беспроводных каналов с замираниями // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 308-313.
16. Никитин Б.К., Пирмагомедов Р.Я. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования интенсивности внезапных отказов физического канала пассивных оптических сетей // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 319-323.
17. Одоевский С.М., Яровикова О.В. Оптимизация управления распределением трафика на смежных уровнях сетевой архитектуры // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 323-328.

18. Пискунов В.В. Опыт подготовки специалистов инфокоммуникаций для работы с новым оборудованием и технологиями // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 333-338.
19. Футахи А.А. Анализ сценариев функционирования кооперативных сетей // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 369-372.
20. Давыдова Е.В. Аналитические модели процессов передачи и обработки мультимедийных потоков в мультисервисной сети связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 454-460.
21. Козлова Л.П. Стандартизация в инфокоммуникационных сетях // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 475-478.
22. Косолапов В.С. Методика обеспечения информационной безопасности сети VOIP телефонии в условиях несанкционированного доступа // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. Вып. 2. С. 426-434.
23. Амарян М.Р. Системное моделирование телекоммуникационной технологии на базе интеллектуальной КТ-платформы компьютерной телефонии и автоматизированной системы с принятием решений: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.13.01 / Моск. акад. рынка труда и информационных технологий. – Москва, 2005. 35 с.
24. Феоктистов В.А., Мальцева О.Л. О новых технологиях и услугах связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 902-906.
25. Маркевич В.М. Сравнительный анализ программ-конструкторов для создания чат-ботов // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: проблемы и перспективы. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. Стерлитамак, 2022. С. 142-147.
26. Котенко И.В., Шоров А.В. Защита компьютерной сети от инфраструктурных атак на основе реализации "нервной системы сети" // Региональная информатика-2008. Материалы XI Санкт-Петербургской Международной конференции. 2008. С. 118-119.
27. Батуев Б. Технология 5G: поэтапное внедрение и элементная база для абонентского оборудования // Беспроводные технологии. 2019. № 4 (57). С. 15-27.
28. Прошкин Р.И., Суханова О.Н. Новые технологии для защиты россиян от телефонных мошенников // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Пенза, 2023. С. 26-29.
29. Коржов В. Контуры 6G Открытые системы // СУБД. 2020. № 4. С. 16-17.
30. Гринченко С.Н. О пространственном структурировании феномена "Искусственный интеллект" // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2019. № 4 (14). С. 10-16.
31. Украинцев Ю.Д., Цветов М.А. История связи и перспективы развития телекоммуникаций: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 21040665 "Сети связи и системы коммутации"; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высшего проф. образования "Ульяновский гос. технический ун-т". – Ульяновск: УлГТУ, 2009. 126 с.
32. Славин Б.Б. Эпоха коллективного разума: о роли информации в обществе и о коммуникационной природе человека. - Изд. 2-е. - Москва: Либроком, 2014. 316 с.
33. Гимаров В.В. Продукционные и нечетко-логические модели прогнозирования тенденций развития регионального рынка сотовой связи: автореферат дис. ... кандидата экономических наук: 08.00.13 / Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева. – Москва, 2005. 22 с.
34. Гладышев В.А. Анализ достоинств использования технологии 5G мобильными операторами связи // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. Сборник научных трудов XXIII Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов (в рамках 9-го Международного научного форума «Инновационные перспективы Донбасса»). Донецк, 2023. С. 4-6.
35. Фурсова Т.В., Терновская Т.Н., Романов Е.В. Внедрение чат-ботов в технологии дистанционного банковского обслуживания // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА. 2020. № 4. С. 45-52.
36. Шаравова М.М. Выявление характера цифровой трансформации моделей инфокоммуникационного бизнеса // Экономика и качество систем связи. 2021. № 1 (19). С. 3-12.
37. Ширшов Е.В. Хронологическая ретроспектива становления и развития средств, методов и технологий. Роль и значение информации в современном обществе. В книге: Информация. Наука. Образование: средства, методы и технологии. Хронологическая ретроспектива становления и развития. Сетевое учебное издание. Москва, 2017. С. 7-166.
38. Саман И.Е., Тарасов В.А. Анализ состояния телекоммуникационного рынка российской федерации и развитие мультисервисных сетей как фактора спроса на услуги связи // Современная наука. Актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей XVI Международной научно-практической конференции в 2 ч. Пенза, 2020. С. 65-69.
39. Луговской Е.С. Продвинутая сеть 5G - эволюция в сторону сети 6G // Молодой ученый. 2023. № 44 (491). С. 48-54.
40. Молл Е.Г., Смирнов А.В. Развитие системы "Человек - цифровая среда". Информационные технологии и вычислительные системы. 2020. № 4. С. 96-110.
41. Блануца В.И. Пространственная диффузия цифровых инноваций: Тренды, проблемы и перспективы эмпирических исследований. Пространственная экономика. 2021. Т. 17. № 4. С. 118-142.
42. Аханова М.А., Матвеев М.В. IP- телефония: современная технология бесплатных звонков // Математические методы и модели в управлении, экономике и социологии. Сборник научных трудов. Тюмень, 2017. С. 24-28.

43. Воронин В.М., Наседкина З.А. перспективные приложения когнитивной науки // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2014. № 1 (21). С. 41-55.
44. Сухоручкина И.Н. Программы и проекты развития квантовых коммуникаций в России. Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. 2021. № 8. С. 21-32.
45. Гордеева Т.А., Тишулин П.Б., Фирсова Д.И. Современные направления в речевых исследованиях. В сборнике: Университетское образование (МКУО-2013). Сборник статей XVII Международной научно-методической конференции, посвященной 70-летию образования университета. Под редакцией В. И. Волчихина, Р. М. Печерской. 2013. С. 222-223.
46. Филиппев А. AI Conference. Возможности искусственного интеллекта // Системный администратор. 2018. № 12 (193). С. 10-11.
47. Васильев Д.Е. Оптимизация взаимодействий человека и искусственного интеллекта путем внедрения стандартизированных коммуникационных правил // Развитие современной науки и технологий в условиях трансформационных процессов. Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 51-54.
48. Кузовкова Т.А., Шаравова М.М., Алмаева О.П. Конвергентный характер стратегии цифровой трансформации инфокоммуникационных компаний // Экономика и качество систем связи. 2021. № 3 (21). С. 3-19.
49. Субботин Е.А. Развитие инфраструктуры инфокоммуникаций и становление информационного общества России // Философия хозяйства. 2006. № 5 (47). С. 20-38.

Горобченко Станислав Львович, канд. техн. наук, sgorobchenko@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,

Ковалёв Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент, d.a.kovalyov@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,

Войнаш Сергей Александрович, младший научный сотрудник, sergey_voi@mail.ru, Россия, Рубцовск, Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,

Парфенопуло Георгий Константинович, старший преподаватель, parfenon73@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова,

Кочубей Руслан Иванович, преподаватель, ruslanik@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

MODERN TELEPHONY - FROM TELEPHONISTS TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE

S.L. Gorobchenko, D.A. Kovalev, S.A. Voinash, G.K. Parfenopulo, R.I. Kochubey

The work examines the development of telephony in the context of its place in the overall development of telecommunication systems and interaction in the “human - digital environment - artificial intelligence” system. The main achievements influencing the development of modern telephony are shown. A historical overview is given and the origins of the current state of telephony and the transition to smart telephony and artificial intelligence are shown. The main directions and capabilities of artificial intelligence in telephony that have not yet been disclosed for widespread use are shown.

Key words: modern telephony, telecommunication systems, digital environment, artificial intelligence, main directions of use.

Gorobchenko Stanislav Lvovich, candidate of technical sciences, sgorobchenko@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,

Kovalev Dmitry Aleksandrovich, candidate of technical sciences, docent, d.a.kovalyov@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,

Voinash Sergey Alexandrovich, junior researcher, sergey_voi@mail.ru, Russia, Rubtsovsk, Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University,

Parfenopulo Georgy Konstantinovich, senior lecturer, parfenon73@mail.ru, Russia, St. Petersburg, St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov,

Kochubey Ruslan Ivanovich, teacher, ruslanik@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny

ВЫБОР ТИПА СЛОЖНОГО СИГНАЛА ДЛЯ БОРТОВОЙ РЛС ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

И.А. Ростовцев

Приведены результаты выбора и характеристики сигнала, манипулированного по фазе двоичной псевдослучайной последовательностью (ПСП) максимальной длины. Проведена оценка возможности увеличения отношения сигнал/шум для фазокодоманипулированной последовательности. Показано, что в качестве элемента приемно-передающего модуля ФКМ зондирующего сигнала целесообразно использовать однократный накопитель импульсов.

Ключевые слова: фазоманипулированный сигнал, дискретная последовательность, псевдослучайная последовательность, накопитель импульсов.

Совместным требованиям высокой разрешающей способности, низкому уровню излучаемой мощности, реализации когерентного суммирования отвечают сигналы с базой (произведение частотной полосы сигнала на его длительность) существенно большей единицы.

К таким сигналам относят шумовые, с внутриимпульсной линейной частотной модуляцией, модулированные по фазе псевдослучайными последовательностями.

Сложности формирования и последующей обработки первых двух типов сигналов говорят о выборе в пользу фазоманипулированных сигналов. При этом следует отметить, что из всего их многообразия наиболее рациональным оказывается выбор двоичных псевдослучайных последовательностей максимальной длины (М-последовательностей).

Среди возможных вариантов сложных сигналов важное место занимают периодические дискретные сигналы (ПДС), получаемые манипуляцией амплитуд и начальных фаз регулярно повторяющихся стандартных радиоимпульсов по закону, описываемому некоторой кодовой последовательностью комплексных чисел периода N . Причины предпочтительного интереса к ним заключаются в том, что аппаратная база формирования и обработки ПДС отработана и в максимальной мере согласована с принципами цифровой схемотехники.

Процесс выбора рациональных по тем или иным критериям структур ПДС, по существу, тождествен синтезу соответствующих кодовых (т. е. манипулирующих) дискретных последовательностей (ДП). Традиционные критерии качества, положенные в основу подобного синтеза, ориентируют на отыскание законов формирования ДП, минимизирующих уровень взаимной (внутрисистемной) помехи на множестве сигналов фиксированного объема.

Ориентация на критерий минимума взаимных помех (минимаксный критерий) и максимума разрешающей способности подразумевает построение ансамблей сигналов объема V , манипулированных ДП, адекватной мерой отличия циклических сдвигов ДП $\{a_i = \dots, -1, 0, 1, \dots\}$ служат максимальные по ансамблю уровни бокового лепестка ρ_b периодической автокорреляционной функции (ПАКФ) и уровня ρ_b периодической взаимной корреляционной (ПВКФ), определяемые как [1,2]:

$$\begin{aligned} \rho_a &= \max_1 \left\| a_1 \right\|^{-2} |R_{11}(m)| \\ & \quad m \neq 0 \pmod N \\ \rho_a &= \max_{\substack{l,s,m \\ l \neq s}} \left\| a_l \right\|^{-1} \left\| a_s \right\|^{-1} |R_{l,s}(m)|, \\ l, s &= 0, 1, \dots, V-1 \end{aligned} \quad (1)$$

где $R_{l,s}(m) = \sum_{i=0}^{N-1} a_{l,i+m} a_{s,i}$; $\|a_r\|$ - евклидова норма кодового вектора $a = (a_{r,0}, a_{r,1}, \dots, a_{r,N-1})$.

Можно составить следующий перечень нижних границ корреляционного выброса ρ_M в ансамблях V ДП длины N с бинарным алфавитом $\{\pm 1\}$.

$$\rho_M \geq \begin{cases} \frac{1}{N} \cdot \left[N \cdot \sqrt{\frac{V-1}{V \cdot N-1}} \right]_{\lfloor N} & 1 \leq V \leq \frac{N^2 - N + 2}{2 \cdot N} \\ \frac{1}{N} \cdot \left[\frac{3 \cdot V \cdot N - 2 \cdot N}{V-1} \right]_{\lfloor N} & \frac{N^2 - N + 2}{2 \cdot N} \leq V \leq \frac{N^2 - 3 \cdot N + 8}{6} \end{cases} \quad (2)$$

где $\lfloor x \rfloor_N$ - ближайшее к x целое, не меньшее x и имеющее ту же четность, что и N .

Дуальными, по отношению к приведенным, являются верхние границы объема (мощности) V ансамбля ДП заданных длин и алфавита при ограничении корреляционного выброса значением ρ_M . Разрешая неравенства (2) относительно V получим:

$$V \leq \begin{cases} \frac{N^2 - N \cdot \rho_M \lfloor N \rfloor^2}{N(N - \lfloor N \rfloor \cdot \rho_M \lfloor N \rfloor^2)}, & 1 \leq \rho_M^2 \leq \frac{N-1}{N^2}; \\ \frac{N^2 - N \cdot \rho_M \lfloor N \rfloor^2}{(3 \cdot N - 2 - \lfloor N \rfloor \cdot \rho_M \lfloor N \rfloor^2)}, & \frac{N-1}{N^2} \leq \rho_M^2 \leq \frac{3 \cdot N - 8}{N^2}. \end{cases} \quad (3)$$

Правые части соотношения (2),(3) естественно рассматривать как некий эталон, сопоставляя с которым показатели реальных ансамблей ДП, можно оценивать их применимость в тех или иных конкретных ситуациях. В ряде случаев роль внутрисистемных помех принадлежит сдвинутому во времени копиям одного и того же ПДС. В этих случаях естественно говорить об ансамблях ДП объема $V=1$, считая целевой функцией при их синтезе уровень бокового лепестка ПАКФ, т.е. называя оптимальной ту ДП, для которой:

$$R_M = R_a = \max_{m \neq 0 \bmod N} |R(m)| = \min \quad (4)$$

Как видно из выражения (2), после подстановки в них $V=1$, границы корреляционного выброса не отрицают возможности построения бинарных последовательностей четных длин N (как и комплекснозначных последовательностей произвольных длин N) с идеальной (имеющей нулевые значения всех $m \neq 0 \bmod N$) ПАКФ, т.е. с $R_m = 0$.

Определенный интерес представляют бинарные последовательности, у которых величина R_a достигает минимального ненулевого значения равного единице. Очевидно, это возможно только для нечетных длин N . Классическими примерами бинарных последовательностей, удовлетворяющих критерию оптимальности (4), являются М-последовательности (или последовательности максимальной длины), последовательности квадратичных вычетов, а также последовательности Якоби и Холла. Менее традиционные варианты построения такого рода последовательностей содержат алгебраическую трактовку теории разностных множеств Гордона-Миллса-Велча [3,4].

Остановимся на сигнале манипулированием по фазе на π двоичной псевдослучайной последовательностью (ПСП) максимальной длины (М-последовательностью). Двоичные ПСП представляют собой набор N периодически повторяющихся символов d_i , каждый из которых может принимать одно из двух значений: +1 или -1. Это значение определяется взятым с противоположным знаком произведений значений двух или большего числа (но всегда четного) предыдущих символов:

$$d_i = -d_{i-n} d_{i-m} \dots d_{i-l} d_{i-k} \quad (5)$$

– четное число сомножителей при этом, $n > m > \dots > l > k$, $a = (n+1)N$. В частном случае двух сомножителей: $d_i = -d_{i-n} d_{i-k}$.

Число N характеризует период бесконечной последовательности. Выбор числа n определяется энергетикой радиоканала.

Общее количество различных комбинаций (а, следовательно, последовательностей) для любого n составляет [74].

$$M = 1/n\phi(2^n - 1), \quad (6)$$

где $\phi(x)$ – функция Эйлера, определяющая количество целых положительных чисел, которые меньше данного целого положительного числа x и являются взаимно простыми с x . При $n=8$ количество типов последовательностей составляет 16.

Иначе говоря, на одной частоте, не мешая друг другу, могут работать 16 РЛС. Особое внимание, при проектировании ППМ следует уделить когерентному накоплению импульсов. Приведенные ниже расчеты показывают сложность поставленной задачи и необходимость использовать специальные технические решения для максимального увеличения отношения сигнал/шум.

Для нефлуктуирующей цели при заданных поверхностных характеристиках необходимо обеспечить отношение сигнал/шум не менее 9 дБ (8 раз) [3]. Оценим возможности схем накопления, применяемых после свертки фазокодированной (ФКМ) последовательности.

Рассмотрим вначале одноэтапный накопитель (рециркулятор) с коэффициентом ослабления $m_0 = 0,92$. Выигрыш в отношении сигнал/шум [44]:

$$B_N = \frac{(1+m_0) \cdot (1-m_0^N)^2}{1-m_0} \quad (7)$$

Зависимость выигрыша от числа накапливаемых импульсов имеет вид представленный на рис.1.

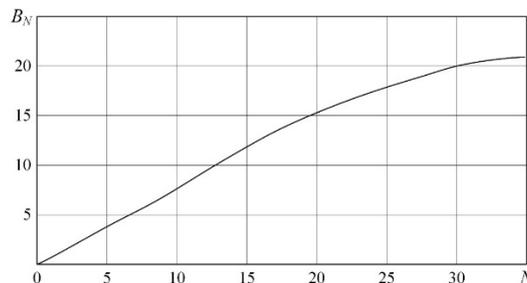


Рис. Зависимость выигрыша от числа накапливаемых импульсов

Как следует из анализа выражения (7) и рисунка накопление более 40 импульсов не дает существенного выигрыша. При 40 импульсах увеличение отношения сигнал/шум составит 13,5 дБ.

Рассмотрим теперь двухэтапное накопление. Поскольку результат первого этапа накопления коррелирован, необходимо обеспечить декорреляцию перед накоплением. Это достигается накоплением импульсов через кратное число периодов следования импульсов. Зададимся следующими параметрами двухэтапного накопителя. Коэффициент ослабления $m_2 = 0.9$, число накапливаемых импульсов $N_2 = 100$. Тогда оптимальный период M_{opt}

$$M_{opt} = \text{floor}(0,6 \cdot m_2 \cdot (l - m_2) \cdot N_2) + 1 \quad (8)$$

будет равен 6 и коэффициент корреляции:

$$K_{кор} = m_2^{M_{opt}} \quad (9)$$

составит величину 0,531.

Выигрыш в отношении сигнал/шум для двухэтапного накопителя [44]:

$$B_2 = \left(\frac{(1 + m_2) \cdot (1 - m_2^{N_2})^2}{1 - m_2} \right)^2 \quad (10)$$

составит 25,5 дБ.

Оценим время необходимое для накопления в обоих случаях.

При длительности элементарного импульса ФКМ последовательности в 25нс, длине последовательности $N_{фм}$ в 127 дискрет полная длительность составит величину $T_{фм} = H_{фм} \tau_d = 3,175$ мкс .

Для обеспечения однозначности на дальности 1500 м необходимо четыре такта. То есть период следования зондирующих импульсов $T_3 = 4T_{фм} = 12,7$ мкс . Тогда время накопления в одноэтапном накопителе $T_1 = 40T_3 = 0,508$ мс , в двухэтапном: $T_2 = M_{opt} T_1 N_2 = 304,8$ мс .

Из анализа времен накопления видно, что применение двухэтапного накопителя возможно при скоростях носителя не превышающих 100 м/с.

Таким образом, учитывая результаты, приведенные выше, а также сложность создания двухэтапного накопителя, в качестве элемента приемо-передающего модуля ФКМ зондирующего сигнала целесообразно использовать однократный накопитель импульсов.

Список литературы

1. Лёзин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем: Уч. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1986. 280 с.
2. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. Пер. с англ. Под ред. В.С. Кельзона. М.: Сов. Радио, 1971. 568 с.
3. Трухачев А.А. Радиолокационные сигналы и их применения. М.: Воениздат, 2005. 320 с.
4. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 448 с.

Ростовцев Иван Александрович, преподаватель, paaii@mail.ru, Россия, Пенза, Пензенский АИИ

SELECTING THE TYPE OF COMPLEX SIGNAL FOR THE AIRCRAFT'S ON-BOARD RADAR

I.A. Rostovtsev

The results of the selection and characterization of a phase-manipulated binary pseudorandom sequence (PSP) of maximum length are presented. An assessment of the possibility of increasing the signal-to-noise ratio for a phase-coded sequence is carried out. It is shown that it is advisable to use a single-fold pulse accumulator as an element of the receiving and transmitting module of the FCM of the probing signal.

Key words: phase-manipulated signal, discrete sequence, pseudorandom sequence, pulse accumulator.

Rostovtsev Ivan Alexandrovich, teacher, paaii@mail.ru, Russia, Penza, Penza AII

**АЛГОРИТМ МНОГОФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПРИ УДАЛЕННОМ ДОСТУПЕ
К ИНФОРМАЦИОННЫМ РЕСУРСАМ**

Д.Е. Шугуров, М.М. Добрышин, А.А. Горшков

Развитие информационных технологий позволяют пользователям удаленно использовать информационные ресурсы, территориально находясь вне защищенной инфраструктуры. Данный факт является одной из материальной основой реализации компьютерных атак направленных на нелегитимный доступ, в том числе к конфиденциальной информации. С целью повышения защищенности информационных ресурсов от несанкционированного доступа разработан алгоритм позволяющий реализовать многофакторную аутентификацию пользователей. Также определены правила принятия решения о разрешении доступа к защищаемому ресурсу и верификации легальных пользователей на основе отпечатка пальца.

Ключевые слова: информационный ресурс, многофакторная аутентификация, защищенность.

В настоящее время существующие средства аутентификации, которые предоставляются разработчиками программного обеспечения, являются не проверенными на недеklarированные возможности соответствующими организациями и их реализация не позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям, поскольку у администратора системы нет доступа к исходному коду [1]. При построении таких систем в качестве механизма аутентификации в большинстве случаев используется верификация пользователей по паролю. Применение подобной процедуры в отношении собственных ресурсов создает дополнительные затруднения, возникающие при эксплуатации и обслуживании такой системы, а именно:

- существуют требования к сложности парольной фразы;
- необходима периодическая смена паролей и защищенные каналы передачи пароля пользователю;
- возникают сложности с запоминанием пароля;
- возможна кража парольной фразы нелегитимным пользователем.

Для преодоления существующих нюансов и обеспечения защищенности данных, циркулирующих в информационной системе необходимо разработать алгоритм многофакторной аутентификации, использующую в качестве одного из параметров уникальный биометрический признак человека – отпечаток пальца, однозначно идентифицирующий пользователя и являющийся неотъемлемой частью его психофизических особенностей.

Исходя из того, что штатные средства прохождения процедуры аутентификации, использующиеся в случае неоднозначной верификации пользователя, могут быть изменены, украдены или подвержены воздействию со стороны нарушителя [1-3], то основным средством, определяющим эффективность разрабатываемого алгоритма является биометрическая аутентификация.

Для оценки эффективности работы алгоритма используется вероятность распознавания отпечатков пальцев, которая рассчитывается как вероятность ошибок первого рода (FRR), т.е. соотношение количества отказов для правильного отпечатка к общему количеству аутентификаций, и второго рода (FAR), соответственно, как соотношение количества успешных аутентификаций для ложных отпечатков к общему количеству попыток аутентификаций.

Для того, чтобы определить требуемые значения FAR и FRR, необходимо проанализировать влияние каждого из параметров на качество функционирования системы [4, 5]. С одной стороны, высокое значение FRR может привести к снижению эффективности функционирования системы, так как при частых ложных срабатываниях администратор практически перестает обращать внимание на задержания или отказы в доступе. С другой стороны, высокое значение FAR увеличивает вероятность несанкционированного доступа.

Учитывая зависимость FAR, FRR от установленных порогов обнаружения, следует отметить, что выбор порогов для указанных величин определяет эффективность систем аутентификации на основе биометрических параметров, поэтому необходимо уделить особое внимание выбору биометрических устройств считывания информации по основным параметрам, определяемым производителем оборудования.

Структура и функциональное назначение алгоритма аутентификации

Физическая структура системы защищенного удаленного доступа к информационным ресурсам, с учетом существующих требований по безопасности, предполагает изолирование сети администрирования от сети доступа. Для удовлетворения данным требованиям, в рамках реализации программно-аппаратного комплекса необходимо обеспечить наличие следующих автоматизированных систем:

1. АРМ пользователя (локального администратора);
2. Серверное оборудование;
3. АРМ администратора системы.

Для обеспечения согласованности в работе автоматизированных систем и реализации процессов функционирования программно-аппаратного комплекса защищенного удаленного доступа к информационным ресурсам необходимо наличие следующих элементов:

- *пользователь*, работая в своей автоматизированной системе, имеет возможность ввода своих биометрических параметров в систему для прохождения процедуры идентификации и аутентификации, возможность создания, удаления, перемещения информации в пределах своего домашнего каталога и назначенного ему общего ресурса;
- *локальный администратор* – работает в одной автоматизированной системе с пользователем и реализует функции контроля за действиями пользователей, ведения локальной базы данных, содержащей учетные записи и соответствующие эталонные значения биометрических параметров, необходимые для обеспечения доступа пользователей к файловому серверу, а так же регулирования порога срабатывания штатных механизмов аутентификации;
- *администратор системы* – обеспечивает установление защищенного соединения с серверным оборудованием для выполнения операций создания, удаления, редактирования информации о пользователях системы, группах, в состав которых они входят, добавления общего ресурса для клиентов.

Построение подсистемы защиты для обеспечения безопасного доступа пользователей к информационным ресурсам, хранящимся на серверном оборудовании, в системе защищенного удаленного доступа предполагает наличие следующих модулей:

- криптографической защиты информации;
- разграничения доступа к хранящимся ресурсам;
- идентификации и аутентификации пользователей;
- аудита.

Модуль криптографической защиты информации применяется для обеспечения защиты данных, как передаваемых по незащищенным каналам связи, составляющим открытую инфраструктуру, так и хранящихся локально. Под информацией, хранящейся в системной области пользовательской ПЭВМ, понимается структурированная база данных, содержащая соответствие цифровых отпечатков пользователей данным учетной записи, необходимым для установления FTPS-соединения и обеспечения безопасного доступа к информационным ресурсам.

Модуль обеспечения целостности обрабатываемой информации реализуется криптографическими алгоритмами, реализующими контроль данной области обеспечения безопасного взаимодействия с сервером. Дополнительно, осуществляется расчет и мониторинг контрольной суммы файла, содержащего соответствие вводимых отпечатков пальцев, данным, позволяющим реализовать доступ к разрешенным для конкретного пользователя ресурсам.

Модуль разграничения доступа представляет возможности создания, редактирования и удаления общих каталогов, путем применения технологии перекрестных ссылок, назначение и изменение прав доступа зарегистрированным пользователям. Необходимость применения данного механизма обусловлена ограничением движения пользователя внутри своего домашнего каталога.

Модуль идентификации и аутентификации пользователей представлен, как многофакторный, поскольку этап получения доступа к информационным ресурсам является ключевым в процессе инициализации соединения с сервером и реализации работы с собственными ресурсами.

Модуль аудита переназначен для контроля доступа легитимных пользователей в систему, фиксирования факта несанкционированного доступа к информационным ресурсам со стороны злоумышленника, а так же регистрации числа неудачных попыток входа в систему.

Вариант схемы доступа пользователей к информационным ресурсам сервера, с учетом описанной физической структуры и принципов построения подсистемы защиты представлен на рисунке 1.

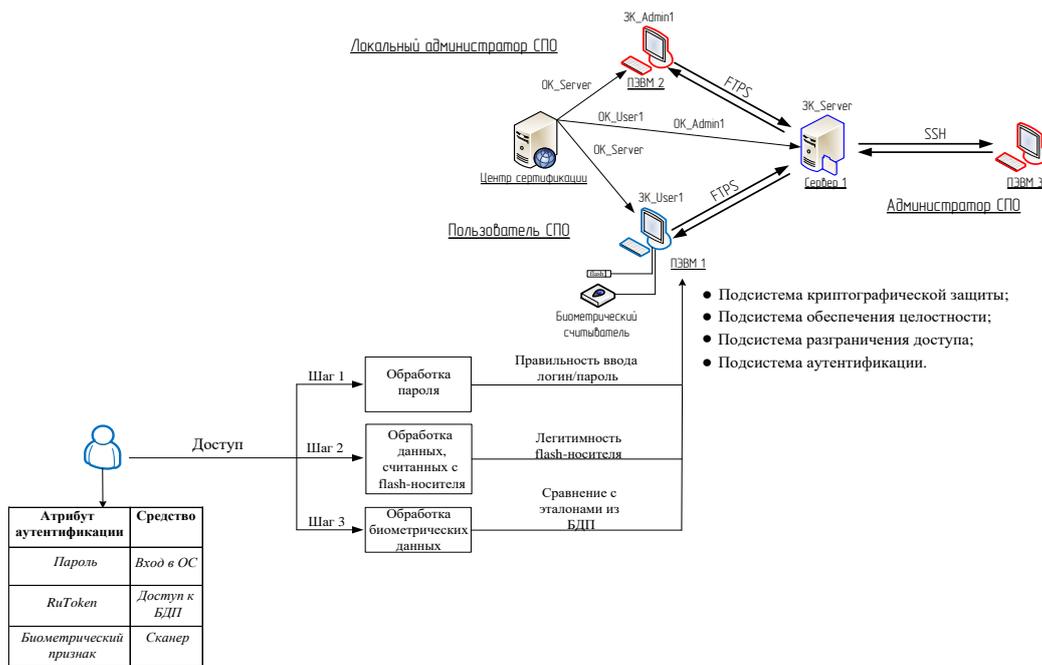


Рис. 1. Вариант схемы удаленного доступа пользователей к информационным ресурсам

Реализация рассмотренной системы позволит создать информационное пространство, обеспечивающее совместный доступ к разрешенным ресурсам, домашнему каталогу, тем самым обеспечивая интеграцию в единой интерфейсной оболочке всего необходимого функционала:

- 1 Возможность разграничения прав доступа к заданным файлам, хранящимся на удаленном серверном оборудовании.
- 2 Возможность создания общего ресурса, посредством применения технологии перекрестных ссылок.
- 3 Обеспечение многофакторной аутентификации пользователей, где в качестве одного из атрибутов используется цифровое значение отпечатка пальца.
- 4 Возможность аутентификации сервера на основе инфраструктуры открытых ключей.
- 5 Обеспечение защищенного информационного обмена между клиентом и серверным приложением с использованием технологии TLS.
- 6 Проверка целостности информации, хранящейся в локальной базе данных пользователей.
- 7 Реализация основных манипуляций (создание, редактирование, перемещение) с ресурсами доступными пользователю.

8 Возможность переноса файла на любую файловую структуру с сохранением атрибутов создателя.

9 Возможность экспорта информационных ресурсов на внешний носитель.

Представленная структура системы защищенного удаленного доступа к информационным ресурсам предназначена для совершенствования существующих систем, представляющих доступ к файловым ресурсам серверного оборудования и повышения защищенности доступа за счет применения процедур многофакторной аутентификации [6].

Для обеспечения единства реализации механизмов защиты необходимо более детально рассмотреть требования, предъявляемые к подсистеме аутентификации в рамках взаимодействия факторов, используемых при верификации пользователей.

Функциональные требования по безопасности для подсистемы аутентификации на основе биометрии

При построении системы защищенного удаленного доступа к информационным ресурсам необходимо соблюдать требования, принципы реализации технологий, процессов и протоколов идентификации и аутентификации для обеспечения функциональной совместимости при взаимодействии модулей безопасности.

В настоящее время существует ряд регламентирующих документов (рис. 2) в которых рассмотрены вопросы идентификации и аутентификации. В данных документах рассмотрены:

- основные термины и определения, которыми необходимо владеть для более детального рассмотрения вопросов идентификации и аутентификации пользователей;
- архитектура построения систем, использующих идентификацию аутентификацию и принципы управления вопросом, связанным с верификацией пользователей;
- требования к системам управления идентификацией и аутентификацией пользователей;
- требования по формату обмена идентификационными признаками;
- классификация методов, используемых при аутентификации пользователей;
- вопросы обеспечения безопасности при реализации процедур идентификации и аутентификации пользователей;
- уровни модели взаимодействия открытых систем в рамках, которых происходит аутентификация пользователей;
- признаки, которые могут быть использованы для проверки легитимности пользователей;
- требования по формату обмена идентификационными признаками.



Рис. 2. Международные стандарты, описывающие вопросы идентификации и аутентификации

Информацией, изложенной в настоящих стандартах необходимо руководствоваться при создании модуля идентификации и аутентификации пользователей, однако вопросы биометрической верификации пользователей по отпечаткам пальцев требуют рассмотрения дополнительных документов.

Стандартами, устанавливающими требования к структуре и формату данных для представления отпечатка пальца при помощи основополагающего понятия контрольных точек, обмена записями данных для хранения, записи и передачи информации об одном или нескольких изображениях отпечатков пальцев являются ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-4-2014 и ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-2-2013.

В рассмотренных документах установлены:

- 1) правила определения, расположения и порядок кодирования контрольных точек извлеченных из изображения отпечатка пальца;
- 2) формат записи изображения отпечатка пальца, использующийся для хранения и реализации процедур верификации пользователей;
- 3) требования по регистрации изображений;
- 4) правила сканирования отпечатков пальцев.

Правила определения, расположения и порядок кодирования контрольных точек извлеченных из изображения отпечатка пальца

Представление отпечатка пальца при помощи характерных признаков является основополагающей практикой, применяющейся при реализации процедур идентификации и аутентификации личности. Контрольными называют точки, расположенные на изображении отпечатка пальца в месте окончания или бифуркации гребня. Описание отпечатка пальца с использованием расположения и направления контрольных точек окончания и бифуркации гребней позволяет гарантированно определить, являются ли две записи отпечатка пальца, записями одного и того же пальца.

Расположение контрольной точки определяется ее горизонтальной, вертикальной координатами и углом направления контрольной точки, который измеряется от горизонтальной оси против часовой стрелки, как изображено на рисунке 3 и рисунке 4 [7, 8].



Рис. 3. Расположение и направление контрольной точки окончания гребня (закодированной в качестве точки бифуркации)

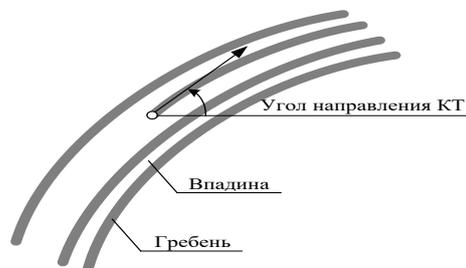


Рис. 4. Расположение контрольной точки окончания остова гребня

Поиск контрольных точек производится в декартовой системе координат, на остовах, извлеченных из цифрового изображения отпечатка пальца. Остов гребня или впадины при этом вычисляется путем поэтапного утончения изображения гребня или впадины до линии шириной в один пиксель.

Для получения изображения отпечатка пальца в виде пригодном для его дальнейшей обработки, необходимо выполнение требований, изображенных на рисунке 5.



Рис. 5. Требования стандартов по регистрации контрольных точек

При реализации этапа сканирования биометрических параметров, необходимо перевести полученные данные в цифровой код, который будет использоваться на этапе сравнения при аутентификации пользователей, имеющих целью доступ к информационной системе. Для получения подобного представления каждая линия на изображении остова кодируется ломаной линией, начинающейся в точке со смещенной координатой с начальным направлением и следующими характеристиками:

- тип контрольной точки (2 бита: 00 – мнимое окончание гребня, 01 – действительное окончание гребня, 10 – действительная бифуркация гребня, 11 – мнимое продолжение гребня);
- угол направления контрольной точки;
- координата X ;
- координата Y .

Каждый элемент ломаной линии является фиксированным набором линейных элементов, определяющих изменение направления относительно предыдущего элемента или, для первого элемента, относительно направления контрольной точки. Изменение направления будет повторяться до тех пор, пока не будет достигнут конец линии, определяющий тип ее контрольной точки.

Формат записи изображения отпечатка пальца, использующийся для хранения и реализации процедуры верификации пользователей.

Формат записи отпечатка пальца следует использовать для обеспечения взаимодействия между подсистемами извлечения и сравнения контрольных точек отпечатка пальца. Формат записи отпечатка пальца, изображен на рисунке 6.

Общий заголовок				Представление 1				Представление ...				Представление n			
Идентификатор формата	Номер версии стандарта	Длина записи	Число представлений	Сертификационный флаг	Заголовок представления	Данные остова отпечатка пальца	Дополнительные данные	Заголовок представления	Данные остова отпечатка пальца	Дополнительные данные	Заголовок представления	Данные остова отпечатка пальца	Дополнительные данные		

Рис. 6. Структура формата записи отпечатка пальца

Представление информации об отпечатке пальца в цифровом виде предусматривает наличие блока «Общий заголовок» для каждой записи отпечатка пальца и блока «Заголовок представления» для каждого представления пальца. Данный формат также разработан для хранения данных о гребневом счете, ядре и дельте, а также о локальном качестве или дополнительных данных разработчика. В параметрах блока «Заголовок представления» должно быть указано число байтов, необходимое для каждой контрольной точки (5 или 6 байт). Второе поле в блоке «Заголовок представления» используется для установления различий между определением контрольной точки окончания гребня при помощи окончания остова гребня или при помощи бифуркации впадины. В третьем поле кодируется разработчик алгоритма извлечения контрольных точек. Четвертое поле содержит присваиваемый разработчиком идентификатор алгоритма извлечения признаков.

Данные контрольных точек приводятся с различными вариациями и в качестве дополнения могут включать дополнительную информацию. Все хранимые данные представлены в двоичном формате, разграничение полей которых осуществляется путем подсчета байтов.

Требования по регистрации изображений

Требования, предъявляемые к системам, использующим регистрацию и сравнение полученных изображений с эталонным значением, зависят от области применения, объема исходных данных, типа применяемых биометрических устройств и могут быть разделены на несколько основополагающих блоков:

- отношение размеров пикселя;
- битовая глубина;
- данные градации серого в сканируемом изображении;
- динамический диапазон изображения;
- частота пространственной дискретизации.

Изображение отпечатка пальца должно быть представлено с помощью квадратных элементов, имеющих одинаковые размеры по горизонтали и вертикали. Допустимая разница между горизонтальным и вертикальным размерами пикселя должна быть не более 1 %. Отношение горизонтального размера к вертикальному должно быть в диапазоне от 0,99 до 1,01.

Битовая глубина определяет точность воспроизведения шкалы градаций серого. Минимальный уровень яркости пикселя, соответствующий черному цвету, должен быть равен нулю. Максимальный уровень яркости пикселя, соответствующий белому цвету кодируется значением 1 для каждого бита. Яркость самого темного пикселя изображения может быть больше нуля, а яркость самого светлого пикселя может быть меньше максимального значения. Значение битовой глубины может находиться в диапазоне от 1 до 16 битов.

Данные градаций серого изображения отпечатка пальца могут храниться, записываться или передаваться как в сжатой, так и в несжатой форме. В записи данных изображения отпечатка пальца в градациях серого в несжатой форме должна сохраниться информация о точках исходного изображения. В изображениях с разрядностью шкалы градаций серого 8 битов на кодирование каждого пикселя должен отводиться один байт. Значение яркости пикселей с разрядностью шкалы градаций серого менее 8 битов должны храниться и передаваться в упакованном двоичном формате. Если значение яркости больше 255, необходимо использовать двухбайтовый беззнаковый формат, соответствующий диапазону яркости от 0 до 65535.

Динамический диапазон характеризует точность кодирования изображения в градациях серого и должен удовлетворять следующим требованиям: «не менее 80% зарегистрированных изображений отпечатков пальцев должны иметь динамический диапазон не менее 200 уровней серого».

Частота пространственной дискретизации изображения может совпадать с частотой пространственной дискретизации сканирования, характеризующей степень детализация папиллярных гребней, находящихся на полученном изображении отсканированного отпечатка пальца. При этом ее значение может быть изменено методами прореживания, интерполяции или иными методами с целью представления структуры и формы папиллярных гребней и областей впадин изображения отпечатка пальца.

Правила сканирования отпечатков пальцев

В рассмотренных руководящих документах не регламентируется ориентация пальца относительно биометрического сканера, применяемые методы сканирования, однако, подробно расписаны рекомендации необходимые для более качественного решения вопросов верификации пользователей [7, 8]:

- корректное расположение пальца на рабочей поверхности биометрического сканера позволяет зарегистрировать более эффективную область изображения одной и той же части пальца (рис. 7);
- центр отпечатка должен находиться в центральной части зарегистрированного изображения (рис. 8);
- регистрация должна сопровождаться визуальным или звуковым руководством по правильному размещению пальца или биометрический сканер должно быть таким, чтобы пользователь всегда размещал палец правильно;
- необходимо минимизировать поперечные движения при регистрации отпечатка пальца для увеличения точности полученного значения;
- расположение тела относительно рабочей поверхности биометрического сканера влияет на качество зарегистрированных изображений.

Все обобщенные требования и правила работы с устройствами биометрической идентификации и аутен-

тификации должны быть учтены при разработке и использовании модуля идентификации и аутентификации пользователей.

Требования к функциональной структуре алгоритма

Функционирование модуля идентификации и аутентификации предполагает последовательное взаимодействие различных механизмов при верификации пользователей системы защищенного удаленного доступа, что порождает необходимость выделения следующих этапов:

- обучения;
- анализа изображения;
- формирования электронного кода;
- сравнения.

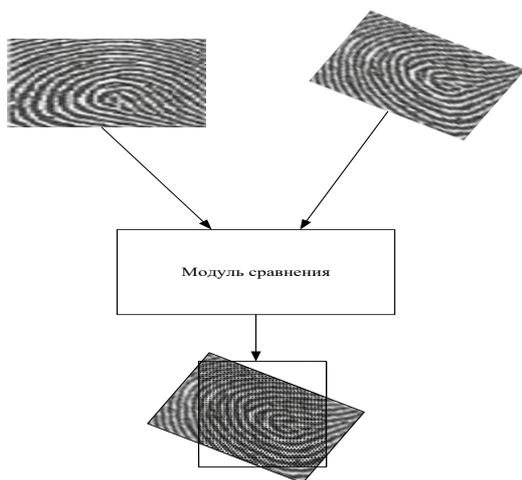


Рис. 7. Перекрывающаяся область отпечатков пальцев при различном расположении

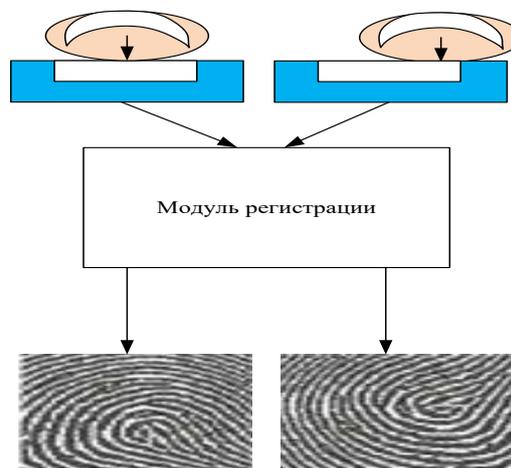


Рис. 8. Корректное и некорректное расположения пальца при сканировании

Первый этап предназначен для обучения функционирующей системы корректному сканированию цифровых отпечатков с минимальным расхождением от эталонных значений и представления возможности подстройки весовых аргументов.

Алгоритм обучения и реализующий его автомат могут быть любыми, однако время обучения и потребляемые вычислительные ресурсы должны быть приемлемыми для потребителей. Из-за потенциальной опасности процедуры обучения время ее осуществления не должно превышать нескольких минут. При обучении модуля идентификации и аутентификации локальный администратор должен лично контролировать зону, в которой осуществляется процесс обучения, использовать при этом только доверенную вычислительную среду.

В рассматриваемом модуле идентификации и аутентификации существуют алгоритмы обучения с учителем и без учителя, определяющие разные подходы к достижению общей цели.

Процесс обучения с учителем представляет собой предъявление сети выборки обучающих примеров. Каждый образец подается на входы сети, затем проходит обработку, вычисляется выходной сигнал, который сравнивается с соответствующим значением целевого вектора, представляющего собой требуемый выход сети. Затем по определенному правилу вычисляется ошибка, и происходит изменение весовых коэффициентов. Векторы обучающего множества поступают последовательно, вычисляются ошибки и веса подстраиваются для каждого вектора до тех пор, пока ошибка по всему обучающему массиву не достигнет приемлемо низкого уровня.

При обучении без учителя обучающее множество состоит лишь из входных векторов. Обучающий алгоритм подстраивает веса так, чтобы получались согласованные выходные векторы, т.е. чтобы предъявление достаточно близких входных векторов давало одинаковые выходы. Процесс обучения, следовательно, выделяет статистические свойства обучающего множества и группирует сходные векторы в классы. Предъявление на вход вектора из данного класса даст определенный выходной вектор, но до обучения невозможно предсказать, какой выход будет производиться данным классом входных векторов.

Для придания модулю идентификации и аутентификации пользователей возможности саморазвития и настройки весовых параметров согласно определенному алгоритму, в рамках работы предлагается использовать метод обучения без учителя.

Этап анализа изображения должен обеспечивать возможность получения основных статистических характеристик папиллярного узора по ключевым участкам, располагаемым на поверхности остова, по алгоритму, заложеному в устройстве считывания биометрической информации.

Этап формирования электронного кода служит для перевода изображения отпечатков пальцев в электронный код, предназначенный для дальнейшей аутентификации.

Этап сравнения изображений отпечатков служит для автоматизированного выявления схожести различных изображений папиллярного узора, с возможностью расчета и отображения значений вероятностей ошибок первого и второго рода.

Таким образом, функциональная структура алгоритма идентификации и аутентификации пользователей может быть реализована технологически и предусматривать реализацию всех рассмотренных этапов, необходимых для правильной верификации легитимного пользователя системы. Сформулированный алгоритм реализован в виде программного модуля и зарегистрирован в Роспатенте [9]. Учитывая модульность разработанного алгоритма существует возможность заменить верификацию пользователя по отпечатку пальца, на идентификацию по «лицу» [10].

Список литературы

1. Ольга Роде. Системы классификации и оценки уязвимостей и угроз информационных систем: какие они бывают и зачем нужны / <https://habr.com/ru/companies/bastion/articles/706884/> (дата обращения: 26.01.2024).
2. Стародубцев, Ю. И. Методика удалённой аутентификации личности / Ю. И. Стародубцев, Д. Е. Шугуров // Интернет-журнал Технологии техносферной безопасности. – 2015. – Выпуск № 5 (63). – С. 265–273.
3. Александр Леонов. Positive Technologies. Трендовые уязвимости 2023 / <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/knowledge-base/trendovye-uyazvimosti-2023/> (дата обращения: 26.01.2024).
4. Михайлов А. А., Колосков А. А. Дронов Ю. И. Основные параметры биометрических систем / Журнал Алгоритм Безопасности № 5, 2015. https://www.sigma-is.ru/articles/art_ab_nic_5_2015.html (дата обращения: 26.01.2024).
5. Белов А.С., Добрышин М.М., Шугуров Д.Е. Алгоритм адаптивного управления удаленной аутентификацией в корпоративных сетях связи / Журнал технических исследований. 2021. Т. 7. № 3. С. 38-46.
6. Бегаев А. Н., Юркин А. А., Шугуров Д. Е., Бегаев С. Н. Предложения по учету основных свойств систем аутентификации при поименованном взаимодействии субъектов (объектов) в компьютерных системах и сетях / В сборнике: Безопасные информационные технологии. Сборник трудов Десятой международной научно-технической конференции. 2019. С. 27-32.
7. Алена Сулина. Обзор систем биометрической идентификации / https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/biometric-identification-systems (дата обращения: 26.01.2024).
8. Биометрия от «А» до «Я» полное руководство биометрической идентификации и аутентификации / <https://securityrussia.com/blog/biometriya.html?ysclid=lshbri42i5352597332> (дата обращения: 26.01.2024).
9. Добрышин М. М., Фурсов А. А., Шугуров Д. Е., Кирьянов А. В. Программный модуль многофакторной аутентификации в системе мониторинга оборудования ТСКП / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023663115, 20.06.2023. Заявка № 2023661630 от 06.06.2023.
10. Шугуров Д.Е., Горбачев П.Н., Добрышин М.М., Курилова А.В. Программа для автоматизированной идентификации личности на основе анализа графического контента получаемого из сети интернет / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019618321, 27.06.2019. Заявка № 2019616892 от 10.06.2019.

Шугуров Дмитрий Евгеньевич, канд. техн. наук, сотрудник, sde33@academ.msk.rsnnet.ru, Россия, Орел, Академия ФСО России,

Добрышин Михаил Михайлович, канд. техн. наук, сотрудник, Dobrithin@ya.ru, Россия, Орел, Академия ФСО России,

Горшков Алексей Николаевич, канд. техн. наук, сотрудник, Россия, Орел, Академия ФСО России

MULTI-FACTOR AUTHENTICATION ALGORITHM FOR REMOTE ACCESS TO INFORMATION RESOURCES

D.E. Shugurov, M.M. Dobrynin, A.A. Gorshkov

The development of information technologies allows users to use information resources remotely, geographically being outside the protected infrastructure. This fact is one of the material basis for the implementation of computer attacks aimed at illegitimate access, including to confidential information. In order to increase the security of information resources from unauthorized access, an algorithm has been developed that allows implementing multi-factor authentication of users. The rules for making a decision on allowing access to a protected resource and verifying legal users based on a fingerprint are also defined.

Key words: information resource, multi-factor authentication, security.

Shugurov Dmitry Evgenievich, candidate of technical sciences, employee sde33@academ.msk.rsnnet.ru, Russia, Oryol, The Academy of FSO of Russia,

Dobryshin Mikhail Mikhailovich, candidate of technical sciences, employee, Dobrithin@ya.ru, Russia, Orel, Academy of the FSO of Russia,

Gorshkov Alexey Nikolaevich, candidate of technical sciences, employee, Russia, Orel, Academy of the FSO of Russia

Как правило, для решения задач прогнозирования используют регрессионные модели, позволяющие связать известное количество необходимой электроэнергии, поступающей с собственной фотоэлектрической установки, а также с шиной питающей подстанции с потреблением электроэнергии исследуемым потребителем. [1]

В настоящее время получили распространение системы, моделирующие нервную систему живых организмов. В информационных источниках есть большое количество публикаций, основанных на использовании для прогнозирования искусственные нейронные сети. Цель прогнозирования уменьшение риска при принятии решения. [2] В настоящее время исследователи сосредоточили свое внимание на интеллектуальных методах прогнозирования таких как искусственные нейронные сети.

Искусственная нейронная сеть-это интеллектуальная вычислительная система, основной принцип которой основан на поведении биологических нейронов, в мозге человека. [3].

Постановка задачи. Рассмотрим следующую задачу: Генерирующий потребитель имеет собственную генерацию в виде фотоэлектрической установки и накопитель энергии, а также подключен к питающей подстанции. При планировании распределения потоков электроэнергии необходимо спрогнозировать выработку собственной фотоэлектрической установки для планирования необходимого количества электрической энергии поступающей с питающей подстанции. При прогнозировании необходимо опираться на данные выработки электрической энергии за прошлый период времени и прогнозе температуры окружающей среды влияющих на выработку возобновляемых источников энергии.

Целью работы является оценка влияния температуры окружающей среды при прогнозировании выработки электроэнергии на основе искусственной нейронной сети, отвечающий следующим требованиям:

- выполнение прогноза выработки фотоэлектрической установки на каждый час суток при среднесуточной температуре окружающей среды
- выполнение прогноза выработки фотоэлектрической установки при изменении температуры окружающей среды на каждый час суток.

Исходные данные. Предварительная обработка данных необходима для оценки возможности прогнозирования. Основными данными в этой статье являются значения выработки, полученные от ООО «Комплекс Индустрия» Республика Бурятия России Кабанская СЭС. Производственные данные взяты с 20.05.2020 по 30.09.2020, но подробно рассмотрены данные с 1-7 июня 2020 года. Погодные условия также были приняты в соответствии с географическим расположением солнечной электростанции на эти периоды времени. Солнечная генерация обладает свойством изменчивости, было решено проверить это визуально по полученным данным о генерации. Визуальный анализ изменчивости выработки электроэнергии был проведен путем изучения выработки электроэнергии в течение нескольких недель. На рис. 1 показана изменчивость мощность выработки. На рис. 1 показана изменчивость мощности солнца.

Таблица 1

Исходные данные для прогнозирования электропотребления (фрагмент)

Момент времени	Температура воздуха T, °C	Мощность P, кВт
20.05.2020, 11:00	23	600
20.05.2020, 12:00	23	750
20.05.2020, 13:00	25	1200
20.05.2020, 14:00	28	950
20.05.2020, 15:00	28	950
...
30.09.2020, 22:00	22	0
30.09.2020, 23:00	22	0

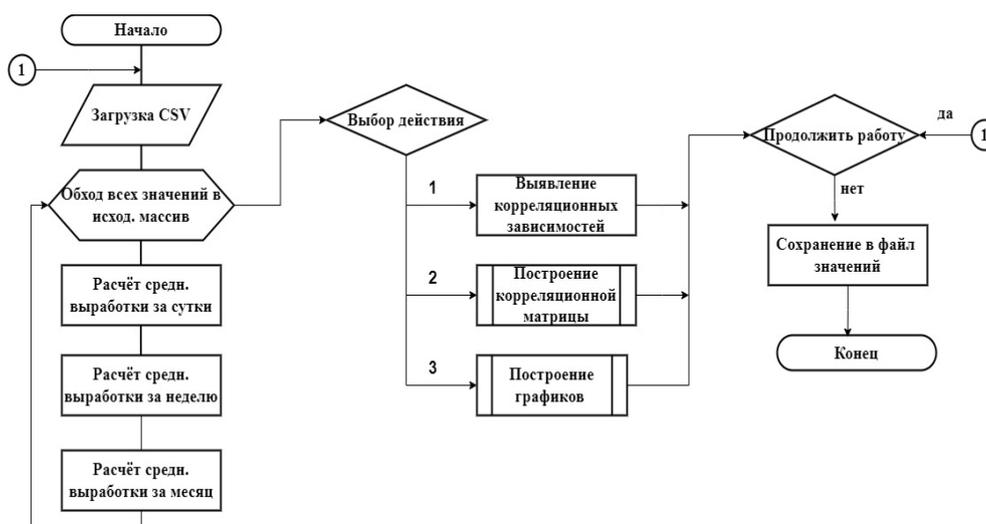


Рис. 1. Алгоритм обработка данных выработки электрической энергии фотоэлектрическими панелями с расчетом факторов, влияющих на работу системы

На рис. 1 показано, что на вход подаётся информация, которая содержит файл формата «.csv» с исходными данными, который содержит данные о выработке электроэнергии фотоэлектрическими панелями, с периодичностью в один час и метеоданные окружающей среды на каждом из интервалов. Производится анализ данных, который включает: расчёт средних показателей выработки электроэнергии и метеофакторов в интервалах: сутки, неделя, ме-

ся; расчёт коэффициентов корреляции между следующими параметрами: t и p . Результатом работы программы является вывод графиков объёмов выработки электроэнергии и температуры окружающей среды в заданных временных интервалах, а также числовые значения корреляции между выбранными параметрами.

Прогнозирование выработки электроэнергии солнечными панелями. В данной задаче прогнозирования используем информационно аналитическую систему Rapidminer, где функциональные блоки выделены в специальные операторы с помощью которых формируется обработка данных. Архитектура интеллектуальной нейронной сети учитывает особенности выработки электрической энергии фотоэлектрической установки. [4-6] При прогнозировании выработки особое значение имеет метеорологический прогноз погоды, так как на выработку влияют погодные климатические и сезонные условия. Температура влияет на способность фотоэлектрической установки производить энергию [7-9].

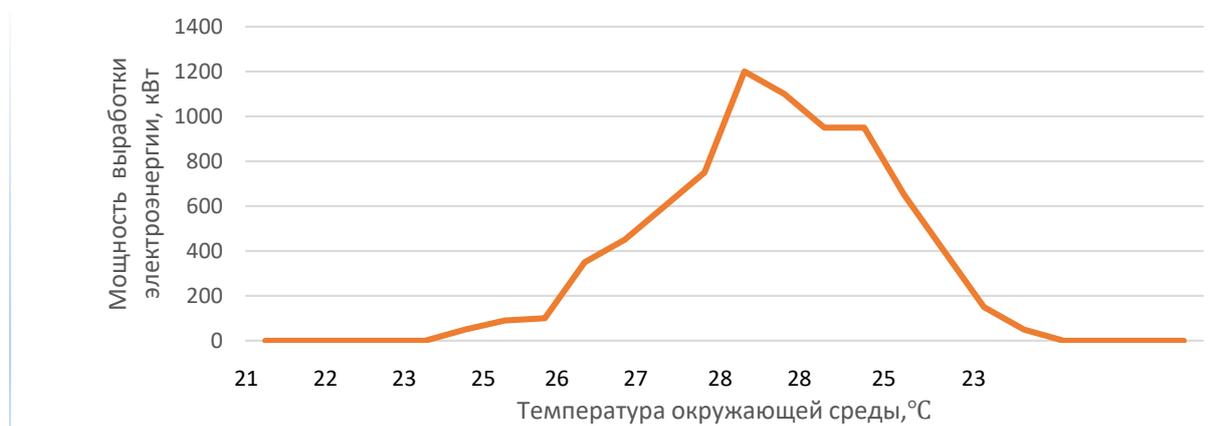


Рис. 2. Суточная прогнозируемая выработка фотоэлектрической установки при отклонении от средней температуры окружающей среды

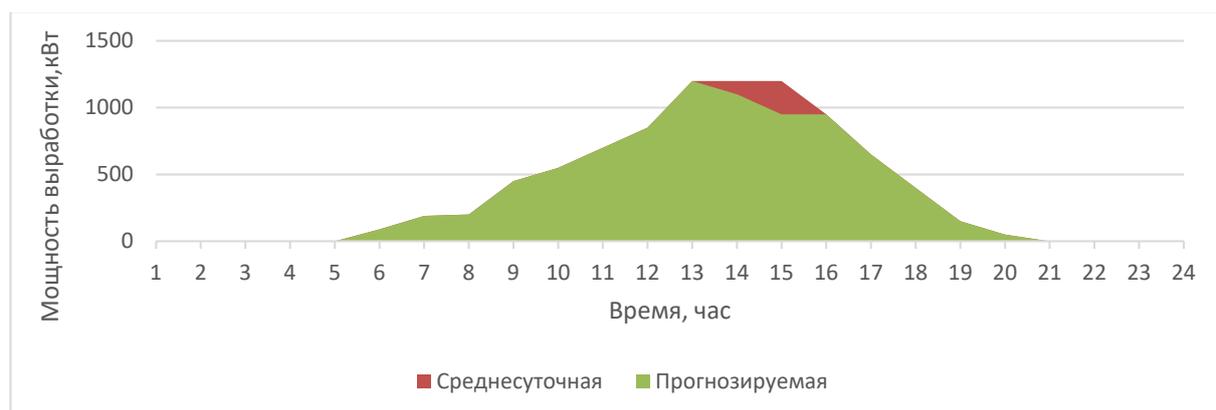


Рис. 3. Влияние температуры окружающей среды в суточном интервале

Attribute	Atmosphere pressure	Consumption, Kvt	date:day_of_month	date:day_of_week = 1	date:day_of_week = 2	date:day_of_week = 3	date:day_of_week = 4	Day	temp
Atmosphere pressure	1,000	-0,104	-0,484	-0,129	0,017	0,014	0,164	-0,134	-0,183
Consumption, Kvt	-0,104	1,000	0,189	-0,016	-0,034	-0,007	0,083	-0,022	0,156
date:day_of_month	-0,484	0,189	1,000	0,049	-0,071	-0,022	0,022	0,058	-0,017
date:day_of_week = 1	-0,129	-0,016	0,049	1,000	-0,170	-0,169	-0,169	0,613	-0,014
date:day_of_week = 2	0,017	-0,034	-0,071	-0,170	1,000	-0,149	-0,149	-0,614	-0,016
date:day_of_week = 3	0,014	-0,007	-0,022	-0,169	-0,149	1,000	-0,148	-0,419	-0,068
date:day_of_week = 4	0,164	0,083	0,022	-0,169	-0,149	-0,148	1,000	-0,227	-0,064
Day	-0,134	-0,022	0,058	0,613	-0,614	-0,419	-0,227	1,000	0,030
temp	-0,183	0,156	-0,017	-0,014	-0,016	-0,068	-0,064	0,030	1,000

Рис. 4. Матрица корреляции между параметрами

Из рис. 2-3 следует, что при повышении температуры окружающей среды выше 25 градусов выработка электрической энергии фотоэлектрической установки снижается чем больше повышается температура окружающей среды свыше 25 градусов тем сильнее падает выработка электрической энергии фотоэлектрической установки снижается (рис.3)

На рис. 4 показано, что в процессе сбора и обработки данных, основываясь на экспертных оценках, были учтены такие параметры, как мощность потребления электроэнергии на предприятии, время суток (час в сутках), день недели, день месяца, температура, атмосферное давление. Результаты корреляционного анализа между выбранными параметрами. Корреляционный анализ является одним из ключевых методов статистического анализа, который позволяет определить степень связи между двумя или более переменными.

Один из наиболее распространенных индикаторов корреляционного анализа - коэффициент корреляции Пирсона. Он измеряет линейную связь между двумя непрерывными переменными и может принимать значения от -1 до 1. Значение коэффициента корреляции Пирсона близкое к 1 указывает на положительную линейную связь, близкое к -1 - на отрицательную линейную связь, а значение близкое к 0 - на отсутствие линейной связи [10].

Обсуждение результатов. Метод прогнозирования, основанный на искусственной нейронной сети, практически значим, основываясь на данных, приведенных на рисунке 3. Этот метод играет важную роль в исследовании, поскольку это позволяет определить значимость факторов метеорологических условий для того, чтобы указать на их значимость в выработке солнечной энергии.

В будущем планируется использовать модель прогнозирования, основанную на искусственной нейронной сети, для определения вклада каждого фактора, влияющего на основную характеристику, и для изучения процессов производства энергии.

Заключение. В результате исследования было установлено, что при повышении температуры окружающей среды выше 25 градусов выработка электрической энергии снижается. При построении прогнозной модели важно учитывать почасовое изменение температуры окружающей среды, чтобы ошибка прогнозирования имела минимальные значения. Прогнозирование выработки электроэнергии из возобновляемых источников позволит оператору интеллектуальных систем максимально использовать собственную выработку электроэнергии и подключаться к станции электроснабжения только при плановом дефиците электроэнергии, что обеспечит наиболее сбалансированное управление энергоресурсами.

Список литературы

1. Валь П.В. Краткосрочное прогнозирование электропотребления горного предприятия с использованием однофакторных методов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2011. № 2(35). С. 12–17.
2. Исследование методов аппроксимации для решения задачи краткосрочного прогнозирования суточного электропотребления / Р.Н. Хамитов, А.С. Грицай, И.В. Червенчук, Г.Э. Сеницин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2016. № 4(52). С. 91–98.
- 3 Reynolds, C.F. A Distributed Behavioral Model / C.F Reynolds, Herds, and Schools // Computer Graphics. – 1987. Vol. 21. – no. 4. – P. 25–34.
2. Eberhart, R.C. New Optimizer Using Particle Swarm Theory / R.C. Eberhart, J. Kennedy // VI International Symposium on Micro Machine and Human Science, Japan. – 1995. – P. 39–43.
4. Kennedy, J. Particle swarm optimization / J. Kennedy, R.C. Eberhart // International Conference on Neural Networks (ICNN'95). Perth, WA, Australia. –1995. – P. 1942–1948.
5. Shi, Y. A modified particle swarm optimizer / Y. Shi, R. Eberhart // IEEE International Conference on Evolutionary Computation. Anchorage, AK, USA. – 1998. – P. 69–73
6. Karaboga, D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical report-tr06 [Электронный ресурс] / D. Karaboga. –Turkey, Kayseri: Erciyes University, 2005. – 10 p. – Режим доступа:http://www.dmi.unict.it/mpavone/nc-cs/materiale/tr06_2005.pdf. – Загл. с экрана.
7. Pham, D.T. The Bees Algorithm – A Novel Tool for Complex Optimisation Problems / D.T. Pham, A. Ghanbarzadeh, E. Koç, S. Otri, S. Rahim, M. Zaidi. – 2005. – 40 p. – Режим доступа:
8. Воевода А.Е., Харитонов Д.Д., Валь П.В. Краткосрочное прогнозирование электропотребления на основе метода случайного леса // Электроэнергетика глазами молодежи - 2016 : Материалы VII Международной молодежной научно-технической конференции. В 3 т., Казань, 19–23 сентября 2016 года. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет. 2016. С. 124–127.
9. Денисова Л.А. Математическая модель цифровой системы регулирования с переменными параметрами // Автоматизация в промышленности. 2011. №9. С. 45–48
10. Chen, T. and Guestrin, C. (2016) XGBoost: A scalable tree boosting system, arXiv.org. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1603.02754>

Шабунин Сергей Владимирович, аспирант, AgranomMotor@yandex.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Научный руководитель Денисова Людмила Альбертовна, д-р техн. наук, профессор, denisova@asoiu.com, Россия, Омск, Омский государственный технический

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF AMBIENT TEMPERATURE ON THE PREDICTION OF THE PRODUCTION OF A PHOTOELECTRIC INSTALLATION

S.V. Shabunin

This article considers that an important factor in predicting the production of electric energy by a photovoltaic installation is climatic conditions, in particular the ambient temperature. It is proposed to predict the generation of its own generation using an intelligent neural network. The forecasting model will take into account the change in ambient temperature. It is considered how the change in ambient temperature affects the generation of electricity. It is important to take into account the hourly change in ambient temperature, so that the prediction error has minimal values.

Key words: intelligent neural network, forecasting, wind power plant, photovoltaic plant.

Shabunin Sergey Vladimirovich, postgraduate, ayugorshenin@omgtu.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University

Scientific director Denisova Lyudmila Albertovna, doctor of technical science, professor, den-isova@asoiu.com, Russia, Omsk, Omsk State Technical University

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК

М. М. Добрышин

Современные подходы к оценке информационной безопасности корпоративных сетей связи не позволяют в полной мере оценить влияние компьютерных атак на выполнение центральной полезной функции сети связи – предоставление услуг связи. В статье представлен подход, позволяющий за счет применения блочных моделей осуществить переход свойств средства обработки информации к свойствам сети и свойствам услуг связи. Отличительной особенностью разработанных моделей является учет разнонаправленных дестабилизирующих факторов вызванных изменением поверхности защиты КСС вызванных появлением новых уязвимостей информационной безопасности, влиянием компьютерных атак и влиянием системы обеспечения информационной безопасности, что позволяет выявить зависимости между изменением значений параметров средств обработки информации функционирующих в условиях атак, защиту которых обеспечивает набор средств обеспечения информационной безопасности и изменением значений параметров эксплуатационных характеристик информационных технологий обеспечивающих предоставление услуг связи, с учетом структуры сети.

Ключевые слова: качество и свойства услуг связи, информационная безопасность, компьютерная атака, моделирование.

Все большее вовлечение телекоммуникационных услуг связи (УС) во все сферы деятельности современного общества, появление и развитие новых технологий (в том числе развитие возможностей искусственного интеллекта), требуют своевременной адаптации применяемых элементов (моделей, методов, способов) теории информационной безопасности.

Традиционный подход, описывающий деструктивное воздействие злоумышленника на защищаемую информацию с преодолением средств обеспечения информационной безопасности (СрОИБ) в текущих условиях уже не в полной мере отражают суть процесса. Целями воздействий становятся не только информация, но и предоставляемые УС, сервисы. Потенциально возможно описать деструктивное воздействие на предоставляемую УС, через изменение свойств информации (целостность, доступность, конфиденциальность), однако такой подход будет обладать рядом допущений, которые способны повлиять на достоверность результатов такого моделирования и обоснованность выбора мер и механизмов защиты.

Рассмотрение процесса обеспечения информационной безопасности (ИБ) требует комплексного рассмотрения всех протекающих процессов в защищаемой системе. В качестве примера в статье объектом деструктивных информационно-технических воздействий является корпоративная сеть связи (КСС), объединяющая элементы, функционирующие в интересах органов управления компании и других подразделений, территориально распределенных в нескольких регионах, взаимодействие между которыми осуществляется с использованием собственных линий связи и арендуемых у провайдера информационных потоков, предоставляющая различные УС (например, видеоконференцсвязь, IP-телефония, обмен быстрыми сообщениями, электронная почта, доступ к базам данных и информационным ресурсам, в том числе с информацией носящей конфиденциальный характер).

Для повышения детализации протекающих процессов, из всего перечня информационно-технических воздействий будут рассмотрены только компьютерные атаки (КА). Такое сокращение перечня воздействий обусловлено применением принципиально отличающихся СрОИБ.

С целью выявления возможных объектов воздействий и потенциальных последствий от КА на КСС, на рисунке 1 показана описательная модель взаимодействующих элементов изменения качества УС в условиях КА, включающая группу абонентов (1, рис. 1), использующих ресурсы КСС (2, рис. 1) для получения УС (3, рис. 1), включая требования к качеству восприятия УС (удовлетворенность от использования УС и удовлетворенность провайдером связи) (3.1, рис. 1) [1, 2] и требования к качеству предоставления УС (3.2, рис. 1) предъявляемые абонентами сети (рис. 2) [1, 3].

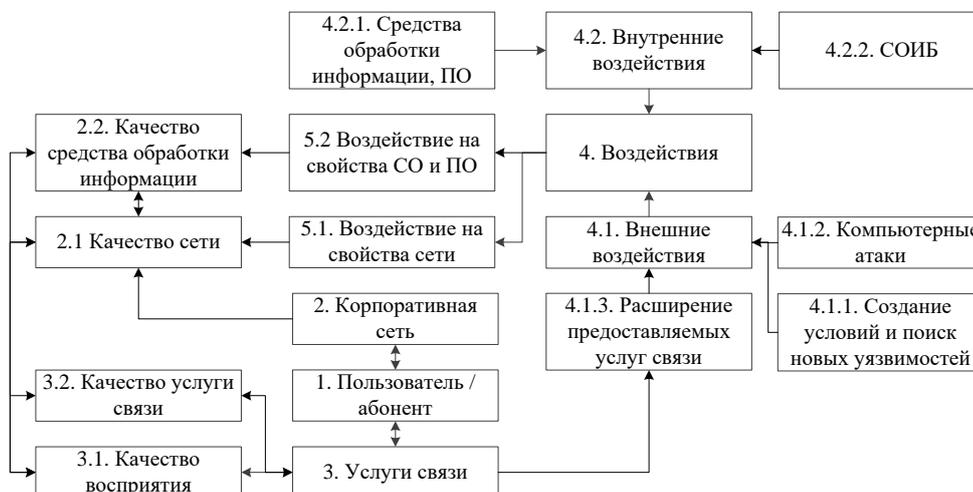


Рис. 1. Описательная модель изменения качества услуг связи в условиях компьютерных атак



Рис. 2. Система свойств характеризующих качество предоставления услуг связи

Основной материальной основой обеспечения требуемого качества предоставляемых УС является инфраструктура корпоративной сети связи, которая характеризуется группой свойств описывающих качество сети (2.1, рис. 1), перечисленных на рисунке 3 [1, 4] и свойств элементов из которых состоит сеть. Элементами могут выступать узлы сети и серверы информационных ресурсов, объединяющие средства обработки информации (СОИ) (совокупность автономных устройств сбора, накопления, передачи, обработки и представления информации) [5], и программное обеспечение (ПО), установленное на указанных СОИ.



Рис. 3. Свойства, характеризующие качество сеть связи

Анализ подходов оценки качества СОИ и ПО [6, 7] возможно проводить как самостоятельно существующие объекты, однако результаты носят в значительной степени абстрагированный анализ и не позволяют получить адекватную оценку. В актуальных регламентирующих документах порядок оценки качества аппаратно-программных средств, предлагается производить комплексно [8], группа свойств характеризующих качество СОИ при использовании (2.2, рис. 1) указана на рисунке 4.

Основываясь на предположении, что в начальных условиях функционирования сеть способна обеспечить предоставление заданного количества УС с требуемым качеством, следует вывод, о том, что существуют воздействия (4, рис. 1) выводящие систему (КСС) из равновесного состояния и снижающие качество.

Опираясь на теорию устойчивости Ляпунова и различные направления теории управления, и теорию рисков, воздействия целесообразно разделить на внешние (4.1, рис. 1) и внутренние (4.2, рис. 1). Под внешними воздействиями понимаются все действия из внешней среды способные повлиять на цель функционирования КСС – предоставление абонентам заданного количества УС с требуемым качеством. Под внутренними воздействиями понимаются влияние элементов на цель функционирования КСС. Воздействия могут нести отрицательное (негативное) влияние – ухудшение качества предоставляемой УС, и положительное влияние – расширение количества предоставляемых УС, повышение качества и минимизация внешнего деструктивного воздействия.

В качестве внешних воздействий на КСС, способных ухудшить качество предоставляемых УС выступают действия направленные на поиск новых уязвимостей ПО или выявление новых условий (новые техники реализации КА) при которых возможно реализовать известные уязвимости (4.1.1, рис. 1), различные КА (4.1.2, рис. 1) и действия абонентов и/или инженерно-технического персонала (4.1.3, рис. 1) направленные на предоставление новых УС или формирования новых элементов сети.

Действия абонентов и технического персонала по целенаправленному или непреднамеренному воздействию на сеть также относятся к внешним воздействиям (4.1.1, 4.1.2, рис. 1). Причем в отличие от действий злоумышленника, действия абонентов и технического персонала носят разнонаправленный характер, так применение

нового оборудования или ПО потенциально повышает качество предоставляемых УС, а с другой стороны новое программное обеспечение обладает новым набором уязвимостей, что изменяет поверхность защиты и выводит КСС из состояния «защищено» в состояние «не защищено».



Рис. 4. Свойства, характеризующие качество средств обработки информации

К источникам внутренних воздействий (4.2, рис. 1) на КСС относятся элементы которые входят в состав сети, т.е. СОИ, ПО, система обеспечения информационной безопасности (СОИБ), объединяющая СрОИБ.

В качестве отрицательных (дестабилизирующих) воздействий оказываемых СОИ, и ПО на КСС (4.2.1, рис. 1) рассматриваются эксплуатационные отказы и сбои [9].

В качестве положительных воздействий оказываемых СОИ, и ПО на КСС (4.2.1, рис. 1) выступают обновления и изменение настроек, устраняющие известные уязвимости или блокирующие реализацию известных техник реализации КА [10].

СОИБ также вносит разнонаправленные воздействия (4.2.2, рис. 1) – с одной стороны СОИБ минимизирует или предотвращает ущерб от различных видов КА, с другой стороны СОИБ затрудняет процесс предоставления УС.

Основываясь на описанной структуре КСС, внешние и внутренние воздействия оказывают воздействия на свойства сети (5.1, рис. 1) и свойства применяемых СОИ и ПО (5.2, рис. 1).

С практической точки зрения модель должна предоставить исследователю сведения позволяющие оценить уровень изменения качества предоставления УС, в том числе в условиях КА, выявить источник негативных воздействий (4.1.1-4.1.3, 4.2.1, 4.2.2, рис. 1) и выявить множество потенциально возможных положительных внутренних воздействий (4.1.3, 4.2.1, 4.2.2, рис. 1) позволяющих вернуть КСС в состояние равновесия.

Одним из подходов позволяющих реализовать указанные задачи является применение блочной модели [11]. Используя декомпозицию и группирование, рассмотренную описательную модель изменения качества УС в условиях КА, возможно, представить в виде блочных моделей описывающих:

- изменение поверхности защиты КСС вызванные действиями абонентов и нарушителей и способствующие появлению новых уязвимостей ИБ КСС;
- влияние КА на СОИ, ПО, информационные технологии, в том числе сетевого взаимодействия, структуру и свойства КСС;
- влияние СрОИБ и СОИБ в целом на процесс предоставления УС абонентам.

Действия абонентов, способствующие изменению номенклатуры применяемых СОИ, их настроек (4.1.3¹, рис. 5), а также действия нарушителя (4.1.1¹, рис. 5) приводящие к изменению поверхности защиты, объединяющих устранение одной группы уязвимостей и возникновению новой группы уязвимостей для i -го защищаемого СОИ ($q_i^{ab}(T)$) и КСС в целом $Q^{ab}(T)$:

$$\begin{cases} q_i^{ab}(T) = f(z_i, u_i, \langle n_i \rangle, T) \\ Q^{ab}(T) = f(Z, u_h, \langle n_h \rangle, q_i^{ab}, S, T), \\ Q_m^{ab}(T) = Q^{ab}(T) \otimes \prod_i q_i^{ab}(T) \end{cases} \quad (1)$$

где z_i – уровень защищенности СОИ входящего в состав элемента КСС, u_i – количество известных уязвимостей i -го защищаемого СОИ входящего в состав элемента КСС, $\langle n_i \rangle$ – набор программного обеспечения установленного на i -м защищаемом СОИ входящего в состав элемента КСС, T – время наблюдения, Z – уровень защищенности КСС, u_h – количество известных уязвимостей h -й применяемой технологии сетевого взаимодействия элементов КСС, $\langle n_h \rangle$ – набор программных средств реализующих применяемые технологии сетевого взаимодействия, S – структура сети.

Исходными данными для модели являются выявленные уязвимости ПО (в том числе применяемых ИТ сетевого взаимодействия), известные и потенциально возможные техники реализации КА (с учетом возможности эксплуатации нескольких уязвимостей), топология и структура сети, схемы описывающие взаимодействия элементов для организации и предоставления УС.

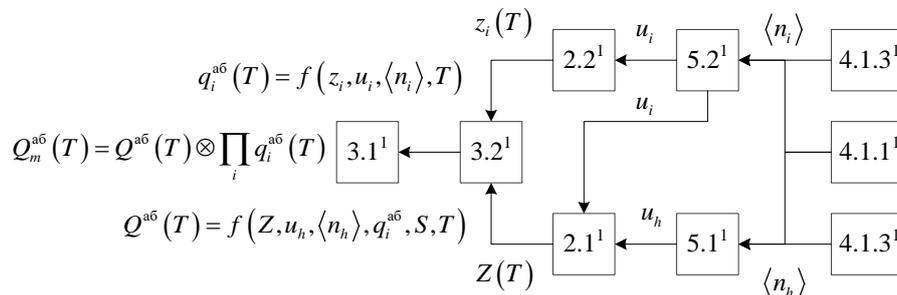


Рис. 5. Блочная модель изменения поверхности защиты КСС вызванных появлением новых уязвимостей информационной безопасности

Промежуточными результатами блочной модели изменения поверхности защиты КСС вызванных появлением новых уязвимостей информационной безопасности являются значения уровня защищенности всех СОИ входящих в состав элемента КСС с учетом комплекса установленного ПО [10], уровень защищенности КСС с учетом структуры сети и предоставляемых УС [12].

Выходными результатами являются изменение значений параметров описывающих следующие свойства от выявленных уязвимостей, известных и потенциально возможных техник реализации КА:

для средств обработки информации:

– свобода от риска – защищенность СОИ от эксплуатации нарушителем ИБ имеющихся в установленном ПО уязвимостей;

для сети связи:

– безопасности сети связи – защищенность применяемых информационных технологиях в КСС от эксплуатации нарушителем ИБ уязвимостей;

для качества услуг связи:

– безопасности УС – защищенность предоставляемой УС от эксплуатации нарушителем ИБ уязвимостей СОИ и КСС с учетом СОИБ КСС;

для качества восприятия:

– удовлетворенность абонента от использования УС – степень доверия абонента к защищенности предоставляемых УС (без указания конкретной УС).

Влияние КА на значения параметров, описывающих эксплуатационные характеристики применяемых i -й информационной технологии и СОИ входящего в состав элемента КСС ($Q_i^{KA}(t)$) (4.1.2², рис. 6), а также описывающих эксплуатационные характеристики применяемых h -й информационной технологии обеспечивающих сетевое взаимодействие элементов КСС ($Q_k^{KA}(t)$), ухудшающие качество предоставление УС ($Q_d^{KA}(t)$) с учетом способности СрОИБ (минимизирующие или устраняющие) входящих в состав СОИБ (4.2.2², рис. 6) по противодействию КА:

$$\begin{cases} q_i^{KA}(t) = f(p_{ij}^{avg}(t), \langle u_i^{факт} \rangle) \\ Q_k^{KA}(t) = f(p_{kh}^{avg}(t), q_i^{KA}(t), S, \langle u_h^{факт} \rangle), \\ Q_m^{KA}(t) = Q_k^{KA}(t) \otimes q_i^{KA}(t) \end{cases} \quad (2)$$

где $p_{ij}^{avg}(t)$ – значения j -го параметра отражающего функциональные характеристики i -го защищаемого СОИ входящего в состав элемента КСС в условиях a -го вида КА с w -ми характеристиками и применяемым g -м СрОИБ входящих в состав СОИБ КСС, $\langle u_i^{факт} \rangle$ – фактический набор уязвимостей i -го защищаемого СОИ входящего в состав

элемента КСС на момент начала реализации КА, t – время реализации КА, $p_{kh}^{avg}(t)$ – значения k -го параметра отражающего функциональные характеристики h -й защищаемого применяемой технологии сетевого взаимодействия элементов КСС в условиях a -го вида КА с w -ми характеристиками и применяемым g -м СрОИБ входящих в состав СОИБ КСС.

Исходными данными для модели являются вид и значения параметров КА (диапазон изменения параметров – для КА вносящих аддитивное воздействие), значения ослабляющей способности СрОИБ, топология и структура сети, схемы описывающие взаимодействия элементов для организации и предоставления УС.

Промежуточными результатами блочной модели влияния компьютерных атак на качество предоставления УС являются отклонение фактических значений (измеренных значений в условиях КА) параметров характеризующих эксплуатационные характеристики СОИ и ПО от допустимых (требуемых) соответствующих значений; вероятность успешности реализации КА направленной на изменение значений параметров характеризующих эксплуатационные характеристики СОИ, ПО, ИТ в том числе сетевого взаимодействия и КСС [13-15].

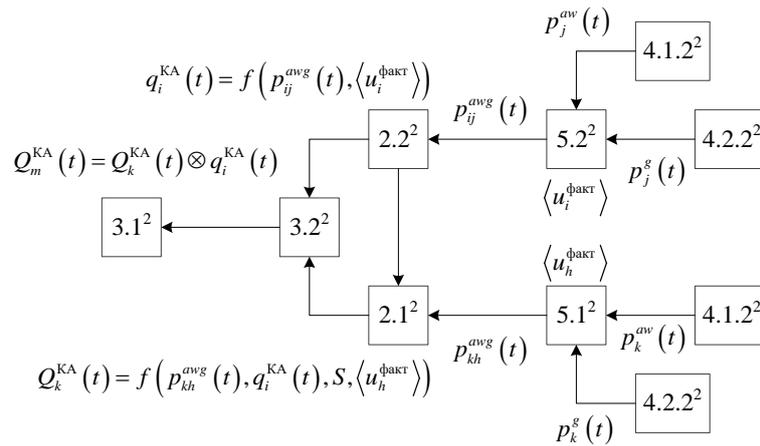


Рис. 6. Блочная модель влияния компьютерных атак на качество предоставления услуг связи

Выходными результатами являются изменение значений параметров описывающих следующие свойства:

для средств обработки информации:

- результативность – доля задач, которые выполняются правильно в условиях КА;
- эффективность / производительность – время, затраченное на успешное выполнение задачи в условиях КА, коэффициент затруднения работы СОИ в условиях КА;
- покрытие контекста – доля предполагаемых контекстов использования, в которых продукт или система могут использоваться с приемлемым удобством использования и риском;

для сети связи:

- доступность – вероятность того, что пользователь УС после запроса (направленного в сеть) получает при определенных условиях сигнал ответа в условиях КА;
- целостность – вероятность связности (связность) направления электросвязи в условиях КА;
- устойчивость (живучесть) функционирования – коэффициент оперативной готовности;
- безопасность сети – вероятность сохранения работоспособности элемента в условиях КА;

для качества услуг связи:

- действенность – вероятность установления соединения между элементами КСС в условиях КА, вероятность предоставления УС в условиях КА на КСС (элемент КСС), вероятность сохранения предоставляемой УС в условиях КА на КСС (элемент КСС);

для качества восприятия:

- удовлетворенность абонентов провайдером связи – количество инцидентов ИБ повлекших ухудшение качество предоставляемой УС к количеству событий ИБ зафиксированных СОИБ.

Влияние СОИБ на значения параметров (4.2.2³, рис. 7), описывающих эксплуатационные характеристики применяемых СОИ с установленным набором ПО, информационных технологий сетевого взаимодействия и затрудняющих (ухудшающих) качество предоставления УС:

$$\begin{cases} q_i^{СОИБ}(t) = f(p_{ij}^g(t), \langle n_g \rangle) \\ Q^{СОИБ}(t) = f(p_{ij}^g(t), q_i^{СОИБ}(t), S, \langle n_g \rangle) \\ Q_m^{СОИБ}(t) = Q^{СОИБ}(t) \otimes q_i^{СОИБ}(t) \end{cases} \quad (3)$$

где $p_{ij}^g(t)$ – значения j -го параметра отражающего функциональные характеристики i -го защищаемого СОИ входящего в состав элемента КСС в условиях применения g -о средства СрОИБ ($\langle n_g \rangle$) входящего в состав СОИБ.

Исходными данными для модели являются значения параметров эксплуатационных характеристик СОИ, информационных технологий, топология и структура сети, схемы описывающие взаимодействия элементов для организации и предоставления УС.

Промежуточными результатами блочной модели влияние СОИБ на качество предоставления УС являются отклонение фактических значений (измеренных значений в условиях применения СОИБ) параметров характеризующих эксплуатационные характеристики СОИ от допустимых (требуемых) соответствующих значений; отклонение фактических значений (измеренных значений в условиях применения СОИБ) параметров характеризующих эксплуатационные характеристики применяемых ИТ сетевого взаимодействия от допустимых (требуемых) соответствующих значений [16, 17].

Выходными результатами являются изменение значений параметров описывающих следующие свойства:

для средств обработки информации:

- результативность – доля задач, которые выполняются правильно в условиях применения заданного набора СрОИБ и режимов их работы;
- эффективность / производительность – время, затраченное на успешное выполнение задачи в условиях применения заданного набора СрОИБ и режимов их работы, коэффициент затруднения работы СОИ в условиях применения заданного набора СрОИБ и режимов их работы;

– покрытие контекста – доля предполагаемых контекстов использования, в которых продукт или система могут использоваться с приемлемым удобством использования и риском;

для сети связи:

– доступность – вероятность того, что пользователь УС после запроса (направленного в сеть) получает при определенных условиях сигнал ответа в условиях применения заданного набора СрОИБ и режимов их работы;

– целостность – вероятность связности (связность) направления электросвязи в условиях применения заданного набора СрОИБ и режимов их работы;

– устойчивость (живучесть) функционирования – коэффициент готовности;

для качества услуг связи:

– удобство – количество операций выполненных абонентом для получения требуемой УС;

– действенность – доля успешно установленных соединений (сессий), вероятность успешно установленных соединений в течение заданного времени;

для качества восприятия

– удовлетворенность абонента провайдером – своевременность выполнения заявки на подключение клиента к сети связи.

Обобщенная блочная модель изменения качества предоставления УС в условиях КА, включающая описанные ранее модели показана на рисунке 8.

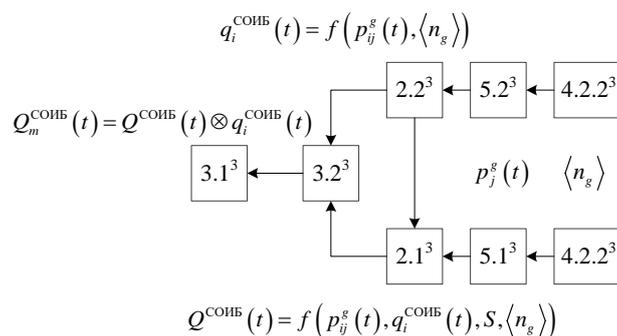


Рис. 7. Блочная модель влияние системы обеспечения информационной безопасности на качество предоставления услуг связи

Данная модель позволяет, объединив ранее описанные частные модели представить процесс предоставления УС абонентам КСС в условиях КА как на одно средство обработки информации, так и на группу узлов сети или информационные технологии сетевого взаимодействия, с учетом возможностей применяемой СОИБ. Блочное представление элементов модели позволяет исследователю за счет дополнения элементов на одном уровне без изменения основных связей выявить новые зависимости между параметрами характеризующими свойства УС, сети связи и СОИ не рассмотренные ранее.

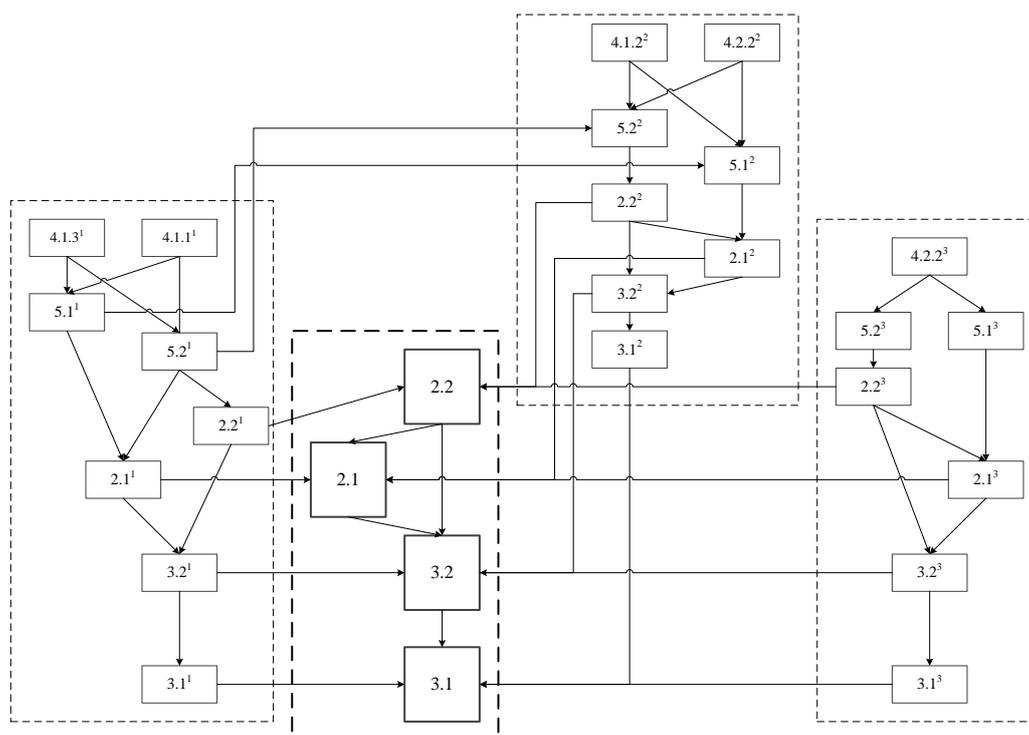


Рис. 8. Блочная модель изменения качества услуг связи в условиях компьютерных атак

Используя методы многопараметрической свертки возможно оценивать комплексное влияние разнородных факторов, в том числе несовпадающих во времени на изменение уровня информационной безопасности КСС и качество предоставления УС в условиях КА.

Список литературы

1. Добрышин М. М., Горбуля Д. С. Подходы оценки качества связи и предоставления услуг связи и задачи по их совершенствованию в рамках обеспечения информационной безопасности / Международный научно-практический электронный журнал «Экономика и качество систем связи» : – 2023. – № 3 (29). – С. 60-71.
2. МСЭ-Т E.800. Серия E: общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы. Определение терминов, относящихся к качеству обслуживания. Обзор рынка предоставления услуг связи.
3. ГОСТ Р 53724 -2009. Качество услуг связи. Общие положения.
4. МСЭ-Т E.802 (02/2007) Серия E: Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы. Принципы и методики определения и применения параметров QoS.
5. ГОСТ Р ИСО /МЭК 25010-2015 Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов.
6. ГОСТ Р 54536-2011. Системы менеджмента качества. Межотраслевые требования.
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25023-2021. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программной продукции (SQuaRE). Измерения качества системы и программной продукции.
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000-2021. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Общий обзор и терминология.
9. Белов А.С., Добрышин М.М., Горшков А.Н., Шугуров Д.Е. Предложение по определению эксплуатационной надежности программного обеспечения сложных технических систем / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. № 9. С. 143-148.
10. Белов А.С., Добрышин М.М., Шугуров Д.Е., Большебратский К.М. Подход к оценке защищенности компьютерной сети связи на основе количества уязвимостей / Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2022. № 11. С. 20-25.
11. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем: Учеб. для вузов – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с: ил.
12. Белов А.С., Добрышин М.М., Шугуров Д.Е. Модернизация системы информационной безопасности: подход к определению периодичности / Защита информации. Инсайд. 2022. № 4 (106). С. 76-80.
13. Добрушин М.М., Гуцын Р.В. Модель разнородных групповых компьютерных атак, проводимых одновременно на различные уровни ЭМВОС узла компьютерной сети связи / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. № 10. С. 371-384.
14. Добрышин М.М., Закалкин П.В. Модель компьютерной атаки типа "phishing" на локальную компьютерную сеть / Вопросы кибербезопасности. – 2021. № 2 (42). С. 17-25.
15. Добрышин М.М., Шугуров Д.Е., Беляев Д.Л. модель сетевых атак типа XSS- и SQL-инъекций на веб-ресурсы, учитывающая различные уровни сложности их реализации / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. № 2. С. 196-204.
16. Белов А.С., Добрышин М.М., Горбуля Д.С., Новиков В.Г. Оценка качества защищенной видеоконференции в условиях компьютерных атак / Журнал технических исследований. 2021. Т. 7. № 4. С. 3-10.
17. Белов А.С., Добрышин М.М., Горбуля Д.С., Шугуров Д.Е. Концептуальная модель обмена информацией между органами управления, учитывающая используемые информационные технологии и качество информационных потоков / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. № 9. С. 126-130.

Добрушин Михаил Михайлович, канд. техн. наук, сотрудник, Dobrythin@ya.ru, Россия, Орел, Академия ФСО России

THE CONCEPTUAL MODEL ASSESSMENT OF THE QUALITY OF COMMUNICATION SERVICES IN THE CONTEXT OF COMPUTER ATTACKS

M.M. Dobryshin

Modern approaches to assessing the information security of corporate communication networks do not allow us to fully assess the impact of computer attacks on the performance of the central useful function of the communication network – the provision of communication services. The article presents an approach that allows, through the use of block models, to transfer the properties of the information processing medium to the properties of the network and the properties of communication services. A distinctive feature of the developed models is the consideration of multidirectional destabilizing factors caused by changes in the surface of the protection of the KSS caused by the emergence of new information security vulnerabilities, the influence of computer attacks and the influence of the information security system, which allows us to identify dependencies between changes in the values of the parameters of information processing tools operating under attack, the protection of which is provided by a set of information security tools and by changing the values of the parameters of the operational characteristics of information technologies providing communication services, taking into account the network structure.

Key words: quality and properties of communication services, information security, computer attack, modeling.

Dobryshin Mikhail Mikhailovich, candidate of technical sciences, employee, Dobrythin@ya.ru, Russia, Orel, Academy of the FSO of Russia

МЕТОДЫ РАСЧЕТА УГЛОВ ПОВОРОТА АНТЕННО-ФИДЕРНОГО УСТРОЙСТВА ЗЕМНОЙ СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

А.В. Плахов, А.А. Корнилов, К.А. Гришин, К.А. Шумов

Предложены методы расчета углов поворота антенно-фидерного устройства земной станции спутниковой связи при перпендикулярном и неперпендикулярном расположении осей вращения относительно друг друга. Учтено влияние курса, крена и тангажа площадки размещения антенно-фидерного устройства на результаты расчета. Произведен сравнительный анализ представленных методов расчета и оценка полученных результатов.

Ключевые слова: земная станция спутниковой связи, антенно-фидерное устройство, целеуказания.

Земная станция спутниковой связи (ЗССС), являющаяся окончательным передающим и/или приемным звеном линии спутниковой связи, представляет собой комплекс радиотехнического и связного оборудования, соединяемого наземными линиями с абонентами [1]. Неотъемлемой частью такого оборудования является антенно-фидерное устройство (АФУ), при этом, неточности в наведении антенны на ретранслятор связи (РС) оказывает существенное значение на качественные показатели связи, вплоть до полного отсутствия связи.

Наведение антенн ЗССС осуществляется в соответствии с рассчитанными целеуказаниями, т.е. совокупностью азимута α_p и угла места β_p . Учитывая непрерывно изменяющееся положение космического аппарата (КА), на котором размещен РС, значения азимута и угла места будут определяться выражениями 1 и 2:

$$\alpha_p(t) = f_\alpha(a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_m, t), \quad (1)$$

$$\beta_p(t) = f_\beta(a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_m, t), \quad (2)$$

где a_1, a_2, \dots, a_n – орбитальные параметры КА; b_1, b_2, \dots, b_m – параметры, характеризующие точку размещения ЗССС; t – время, прошедшее от начала сеанса.

При этом, $\alpha_p(t) \in [0, 90^\circ]$ и $\beta_p(t) \in [0, 360^\circ]$.

Как правило, при работе ЗССС расчет целеуказаний производится программно-аппаратным комплексом, непрерывно в течение сеанса, с целью сопровождения РС на КА. Однако, в случае выхода из строя или некорректной работы оборудования расчета целеуказаний и наведения антенн, единственным возможным способом наведения становится ручное наведение. В свою очередь, это приводит к ограничению возможностей ЗССС по работе с РС КА на высокоэллиптической орбите (ВЭО), при этом возможность работы с РС КА на геостационарной орбите (ГСО) сохраняется практически в полном объеме. Это объясняется тем, что при наведении на РС КА на ГСО $\alpha_p(t) = const$ и $\beta_p(t) = const$, в случае, если не происходит смены РС, а, следовательно, расчет целеуказаний достаточно произвести один раз. Именно из такого варианта работы и будем исходить в дальнейшем.

Стоит отметить, что наведение антенн по рассчитанным целеуказаниям производится путем их вращения вокруг двух осей, обозначим которые как I и V, а углы поворота вокруг данных осей как i и v соответственно. Существующие АФУ, по своему конструктивному исполнению представлены, в основном, двумя видами, которым соответствует следующие расположения осей I и V:

- 1) оси I и V взаимно перпендикулярны, при этом ось V перпендикулярна плоскости (S) на которой размещается АФУ (рис. 1а);
- 2) оси I и V не перпендикулярны друг другу, но ось V перпендикулярна плоскости (S) на которой размещается АФУ (рис. 1б).

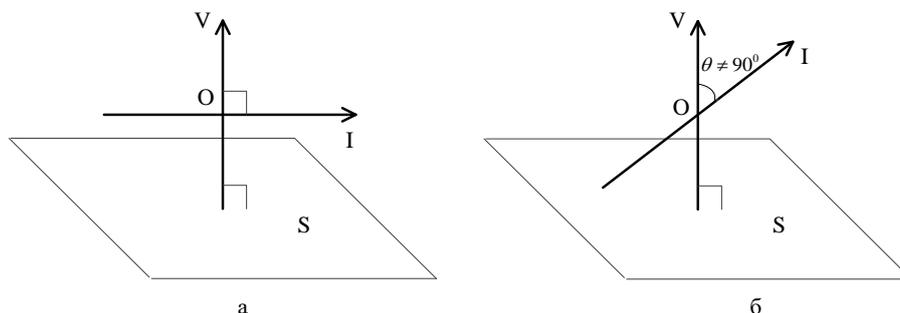


Рис. 1. Расположение осей вращения АФУ ЗССС

Перед тем, как детально рассмотреть случаи, представленные на рисунке 1, необходимо учесть значения азимута и угла в том случае, если плоскость S не будет совпадать с плоскостью местного горизонта S^* , а нулевое направление АФУ по азимуту не совпадает с направлением на север. Для этого введем единичный радиус-вектор R_0 , указывающий направление на север и лежащий на плоскости S: $R_0 = (010)$. Произведем поворот вектора R_0 таким образом, чтобы он лежал на плоскости S^* и совпал с направлением АФУ по азимуту, полученный радиус-вектор обозначим как R'_0 :

$$R'_0 = R_0 M'_z M'_y M'_x \quad (3)$$

где M'_z, M'_y, M'_x – матрицы вращения, описываемые формулами 4-6, при этом углами поворота будут являться: значение азимута (α_p), углы крена (κ) и тангажа (τ) площадки, на которой установлено АФУ, лежащей на плоскости S:

$$M'_z = \begin{pmatrix} \cos \alpha_p & -\sin \alpha_p & 0 \\ \sin \alpha_p & \cos \alpha_p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$M'_y = \begin{pmatrix} \cos \kappa & 0 & \sin \kappa \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \kappa & 0 & \cos \kappa \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$M'_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \tau & \sin \tau \\ 0 & -\sin \tau & \cos \tau \end{pmatrix} \quad (6)$$

В результате,

$$R'_0 = (\cos \kappa \sin \kappa \cos \tau \cos \alpha_p - \sin \tau \sin \alpha_p \sin \kappa \cos \alpha_p \sin \tau + \cos \tau \sin \alpha_p \sin \kappa) \quad (7)$$

Учитывая, что $\|R'_0\| = 1$, из выражения 7 найдем значения отклонения азимута ($\Delta\alpha_0$) и угла места ($\Delta\beta_0$) при преобразовании R_0 в R'_0 :

$$\Delta\beta_0 = \arcsin(\cos \alpha_p \sin \tau + \cos \tau \sin \alpha_p \sin \kappa) \quad (8)$$

$$\Delta\alpha_0 = \arccos\left(\frac{\cos \tau \cos \alpha_p - \sin \tau \sin \alpha_p \sin \kappa}{\cos \Delta\beta_0}\right) \quad (9)$$

Для того чтобы значения $\Delta\alpha_0$ находились в диапазоне $0 - 360^\circ$, преобразуем выражение 9 к следующему виду:

$$\Delta\alpha_0 = \begin{cases} \arccos\left(\frac{\cos \tau \cos \alpha_p - \sin \tau \sin \alpha_p \sin \kappa}{\cos \Delta\beta_0}\right), & \alpha_p \in [0, 180^\circ] \\ 360^\circ - \arccos\left(\frac{\cos \tau \cos \alpha_p - \sin \tau \sin \alpha_p \sin \kappa}{\cos \Delta\beta_0}\right), & \alpha_p \in (180, 360^\circ) \end{cases} \quad (10)$$

Приняв во внимание, что отклонение $\Delta\beta_0$ при преобразовании R_0 в R'_0 эквивалентно отклонению угла места АФУ, а $\Delta\alpha_0$ соответствует азимуту АФУ при расположении его на плоскости S^* и, учитывая разницу между нулевым направлением АФУ и направлением на север (курс) – ω , получим выражения для определения азимута α_p^* и угла места β_p^* при расположении АФУ в плоскости местного горизонта:

$$\alpha_p^* = \begin{cases} \Delta\alpha_0 + \omega, & \Delta\alpha_0 + \omega < 360^\circ \\ \Delta\alpha_0 + \omega - 360^\circ, & \Delta\alpha_0 + \omega \geq 360^\circ \end{cases} \quad (11)$$

$$\beta_p^* = \beta_p - \Delta\beta_0 \quad (12)$$

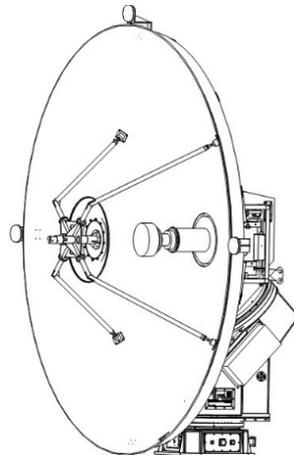


Рис. 2. Пример АФУ ЗССС

В дальнейшем, в качестве значений азимута и угла места АФУ будем использовать результаты, полученные с помощью выражений 11 и 12, а плоскость S считать плоскостью местного горизонта.

Рассмотрим случай, изображенный на рисунке 1а, в котором, если провести ось Н, проходящую через точку пересечения осей I и V (на рисунке - точка O), таким образом, что $H \perp I$ и $H \perp V$, получим систему пространственных координат совпадающую с топоцентрической системой координат, а следовательно $v = \alpha_p^*$ и $\iota = \beta_p^*$.

Для случая, представленного на рисунке 1б, в поиске зависимостей между углами ι, v рассматриваемого АФУ (пример такого АФУ изображен на рисунке 2) и рассчитанными азимутом α_p^* и углом места β_p^* целесообразно использовать два метода:

1. Получением искомых зависимостей по предварительно измеренным значениям методами интерполяции. Такой метод актуален, если конструкция АФУ сложна или недоступна для подробного изучения.

2. Получением искомых зависимостей методами аналитической геометрии, в случае, если конструкция АФУ известна и не создает сложностей для расчета.

Рассмотрим первый метод поиска вышеуказанных зависимостей для АФУ, представленного на рисунке 2. Для чего, составим таблицу предварительно измеренных значений (таблица 1).

Таблица 1

Значения азимута, угла места и углов поворота вокруг осей I и V, полученные путем измерений

α_p^*, \circ	β_p^*, \circ	v, \circ	ι, \circ	α_p^*, \circ	β_p^*, \circ	v, \circ	ι, \circ
0	0	0	0	240	30	185,5	90
90	1	80	15	150	40	88	107
90	2	75,5	21	180	45	114,5	114,5
90	3	72	26	0	60	285,5	137,5
90	4	69	30	60	60	345,5	137,5
90	5	66	34	210	60	135,5	137,5
90	10	57	49	240	60	165,5	137,5
270	10	237	49	330	65	252,5	144,5
90	20	44,5	71,5	90	70	10	152
300	20	254,5	71,5	120	70	40	152
0	30	305,5	90	300	75	217,5	159
30	30	335,5	90	270	80	185	166
60	30	5,5	90	-	90	-	180

В соответствии с экспериментальными значениями, представленными в таблице 1, найдем интерполяционный полином Лагранжа четвертой степени, описывающий зависимость β_p^* от ι , при этом в качестве узлов интерполирования будем использовать:

$$\iota_0 = 0, \iota_1 = 30, \iota_2 = 49, \iota_3 = 152, \iota_4 = 180 \text{ и соответственно,}$$

$$\beta_{p0}^* = 0, \beta_{p1}^* = 4, \beta_{p2}^* = 10, \beta_{p3}^* = 70, \beta_{p4}^* = 90.$$

В результате, искомая зависимость будет иметь вид:

$$\beta_p^* = 0,000000012\iota^4 - 0,000013\iota^3 + 0,0047\iota^2 + 0,004\iota \tag{13}$$

Для нахождения обратной зависимости, т.е. угла поворота вокруг оси I, в зависимости от требуемого угла места β_p^* , решим систему параметрических уравнений, полученных из выражения 13 и выберем подходящий корень, в результате чего, получим следующее выражение:

$$\iota = -0,5\sqrt{F_{\beta\iota}(\beta_p^*) + 32292} + 0,5\sqrt{-F_{\beta\iota}(\beta_p^*) + \frac{2892218750}{27\sqrt{F_{\beta\iota}(\beta_p^*) + 32292}} + 64594 + 270,9}, \tag{14}$$

где

$$F_{\beta\iota}(\beta_p^*) = \frac{3500(11123 - 72\beta_p^*)}{3\sqrt[3]{\sqrt{255999\beta_p^{*3} - 113239707\beta_p^{*2} + 13811435103\beta_p^* + 971530} - 2325\beta_p^* + 971530}} + \frac{2500\sqrt[3]{4}}{3}\sqrt[3]{\sqrt{255999\beta_p^{*3} - 113239707\beta_p^{*2} + 13811435103\beta_p^* + 971530} - 2325\beta_p^* + 971530}$$

Таблица 2

Значения отклонения угла поворота вокруг оси V от азимута, при вращении АФУ вокруг оси I (изменении угла места β_p^*).

ι, \circ	0	15	21	26	30	34	49	71,5
β_p^*, \circ	0	1	2	3	4	5	10	20
$ \alpha_p^* - v , \circ$	0	10	14,5	18	21	24	33	45,5
ι, \circ	90	107	114,5	137,5	144,5	152	159	166
β_p^*, \circ	30	40	45	60	65	70	75	80
$ \alpha_p^* - v , \circ$	54,5	62	65,5	74,5	77,5	80	82,5	85

Анализ экспериментальных данных, представленных в таблице 1, показывает, что угол поворота вокруг оси V не равен рассчитанному азимуту, а представляет собой зависимость:

$$v = f(\alpha_p^*, \beta_p^*) \tag{15}$$

или, в соответствии с зависимостью, показанной в выражении 14:

$$v = f(\alpha_p^*, t) \quad (16)$$

Численные значения отклонения угла поворота вокруг оси V от рассчитанного азимута определяются из таблицы 1 и представлены в таблице 2. В дальнейшем, вышеуказанное отклонение будем обозначать как $\Delta\alpha$.

Таким образом, учитывая диапазон значений угла поворота вокруг оси V - от 0 до 360°, получим выражение для его определения:

$$v = \begin{cases} \alpha_p^* - \Delta\alpha, & \alpha_p^* - \Delta\alpha \geq 0 \\ \alpha_p^* - \Delta\alpha + 360^\circ, & \alpha_p^* - \Delta\alpha < 0 \end{cases} \quad (17)$$

Поиск соотношений $\Delta\alpha$ и β_p^* произведем аналогично соотношениям 13 и 14, используя в качестве узлов интерполирования:

$$\Delta\alpha_0 = 0, \Delta\alpha_1 = 21, \Delta\alpha_2 = 33, \Delta\alpha_3 = 80, \Delta\alpha_4 = 85 \text{ и соответственно,}$$

$$\beta_{p0}^* = 0, \beta_{p1}^* = 4, \beta_{p2}^* = 10, \beta_{p3}^* = 70, \beta_{p4}^* = 80;$$

в результате чего получим выражения:

$$\beta_p^* = -0,0000006\Delta\alpha^4 + 0,000128\Delta\alpha^3 + 0,0038\Delta\alpha^2 + 0,06\Delta\alpha, \quad (18)$$

$$\Delta\alpha = 5\sqrt{F_{\beta\alpha}(\beta_p^*) + 156} - 5\sqrt{-F_{\beta\alpha}(\beta_p^*) + \frac{107416}{27\sqrt{F_{\beta\alpha}(\beta_p^*) + 156}} + 312 + \frac{160}{3}}, \quad (19)$$

где

$$F_{\beta\alpha}(\beta_p^*) = \frac{50(36\beta_p^* - 43)}{27\sqrt[3]{\sqrt{-8000\beta_p^{*3} + 199833\beta_p^{*2} + 1338767\beta_p^* + 252718} + 1404\beta_p^* + 489}} + \frac{10}{3}\sqrt[3]{\sqrt{-8000\beta_p^{*3} + 199833\beta_p^{*2} + 1338767\beta_p^* + 252718} + 1404\beta_p^* + 489}$$

Таким образом, полученные выражения 13, 14, 17-19, хотя и представляются достаточно громоздкими, тем не менее, позволяют определить искомые зависимости без учета конструктивных особенностей АФУ.

Поиск зависимостей между углами ι, v рассматриваемого АФУ и рассчитанными азимутом α_p^* и углом места β_p^* вторым методом зависит от конструкции АФУ, а следовательно, решение такой задачи является уникальным для каждой модели АФУ. В качестве примера решения такой задачи, рассмотрим поиск вышеуказанных зависимостей для АФУ, представленного на рисунке 2.

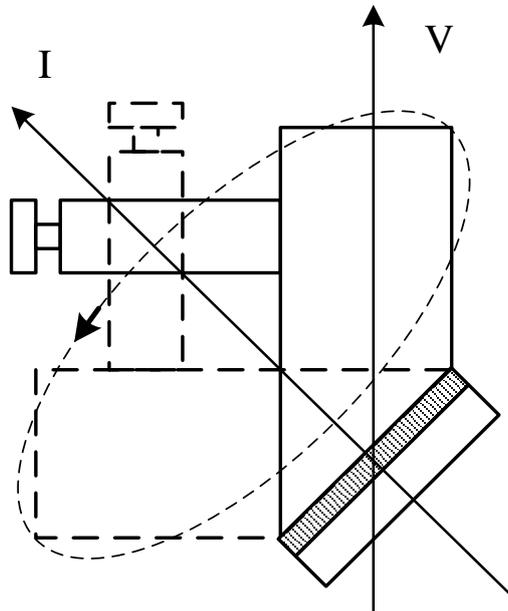


Рис. 3. Положение облучателя при вращении АФУ вокруг оси I

Отметим основные особенности данного устройства:

- 1) направление основного лепестка диаграммы направленности антенны (ДНА) совпадает с продольной осью облучателя в направлении «от рефлектора к контррефлектору»;
- 2) вращение АФУ вокруг оси V приводит к изменению азимута;
- 3) вращение АФУ вокруг оси I (рисунок 3) приводит к изменению азимута и угла места;
- 4) угол между осями I и V $\theta = 45^\circ$;
- 5) облучатель расположен под углом $\gamma = 45^\circ$ относительно плоскости вращения вокруг оси I.

Определение искомых зависимостей начнем с рассмотрения случая, когда $\theta = 0$, т.е. расположение оси I совпадает с расположением оси V, а ось V, по своему расположению, совпадает с осью Z (рисунок 4а).

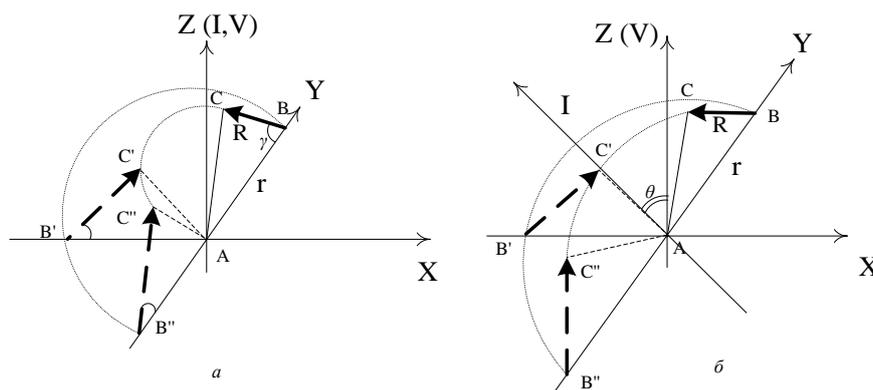


Рис. 4. Изменение направления основного лепестка при вращении АФУ вокруг оси I

Представим направление основного лепестка ДНА в виде единичного вектора $R = (0 \quad \cos(180^\circ - \gamma) \quad \sin(180^\circ - \gamma))$, при этом, выбор положения точки В не играет существенного значения при соблюдении условия:

$$r \square R_n, \quad (20)$$

где R_n – наклонная дальность до РС КА.

Выберем положение точки В таким образом, чтобы треугольник АВС был равнобедренным, таким образом, проекции вектора R , будут определяться как: $R_x = 0$, $R_y = \cos \gamma$, $R_z = \sin \gamma$, а следовательно, вектор $R = (0 \quad \cos \gamma \quad \sin \gamma)$.

При вращении вектора R вокруг оси I происходит его преобразование $R \rightarrow R'$, которое, с учетом совпадения осей I и Z, будет иметь вид:

$$R' = RM_z \quad (21)$$

При этом,

$$M_z = \begin{pmatrix} \cos \iota & \sin \iota & 0 \\ -\sin \iota & \cos \iota & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (22)$$

Таким образом:

$$R' = (-\sin \iota \cos \gamma \quad \cos \iota \cos \gamma \quad \sin \gamma) \quad (23)$$

Значения угла места (β) и отклонения азимута ($\Delta\alpha$) в общем виде будут определяться как:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{R'_z}{\|R'\|}\right) \quad (24)$$

$$\Delta\alpha = \arccos\left(\frac{R'_y}{\|R'\| \cos \beta}\right) \quad (25)$$

Исходя из выражений 23-25 и значения $\|R'\| = 1$, значения β и $\Delta\alpha$ для случая, представленного на рисунке 4а, примут вид: $\beta = \gamma$ и $\Delta\alpha = \iota$.

Учитывая, что в рассматриваемой антенной системе оси I и V(Z) смещены относительно друг друга на угол $\theta \neq 0$, для преобразования $R \rightarrow R'$ необходимо учесть поворот вокруг оси X на угол θ , а следовательно выражение 21 примет вид:

$$R' = RM_z M_x \quad (26)$$

где

$$M_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (27)$$

Исходя из выражений 22, 26 и 27 получим значение вектора R' :

$$R' = (-\sin \iota \cos \gamma \quad \cos \iota \cos \gamma \cos \theta + \sin \gamma \sin \theta \quad \sin \gamma \cos \theta - \cos \iota \cos \gamma \sin \theta) \quad (28)$$

Для определения искомых зависимостей воспользуемся выражениями 24, 25, 28:

$$\beta = \arcsin(\sin \gamma \cos \theta - \cos \iota \cos \gamma \sin \theta) \quad (29)$$

$$\iota = \arccos\left(\frac{\sin \gamma \cos \theta - \sin \beta}{\cos \gamma \sin \theta}\right) \quad (30)$$

$$\Delta\alpha = \arccos\left(\frac{\cos \iota \cos \gamma \cos \theta + \sin \gamma \sin \theta}{\cos \beta}\right) \quad (31)$$

Если привести выражение 31 к функции одного аргумента (в соответствии с выражениями 29, 30), получим выражения:

$$\Delta\alpha = \arccos\left(\frac{\cos \iota \cos \gamma \cos \theta + \sin \gamma \sin \theta}{\cos(\arcsin(\sin \gamma \cos \theta - \cos \iota \cos \gamma \sin \theta))}\right) \quad (32)$$

$$\Delta\alpha = \arccos\left(\frac{\operatorname{ctg}\theta(\cos \theta \sin \gamma - \sin \beta) + \sin \gamma \sin \theta}{\cos \beta}\right) \quad (33)$$

Учитывая, что для устройства, представленного на рисунке 2, $\theta = 45^\circ$ и $\gamma = 45^\circ$, а также используя в качестве угла места β_p^* , выражения 29, 30, 32, 33 приобретут вид:

$$\beta_p^* = \arcsin\left(\frac{1 - \cos \iota}{2}\right) \quad (34)$$

$$\iota = \arccos(1 - 2 \sin \beta_p^*) \quad (35)$$

$$\Delta\alpha = \arccos\left(\frac{1 + \cos \iota}{2 \cos\left(\arcsin\left(\frac{1 - \cos \iota}{2}\right)\right)}\right) \quad (36)$$

$$\Delta\alpha = \arccos\left(\frac{1 - \sin \beta_p^*}{\cos \beta_p^*}\right) \quad (37)$$

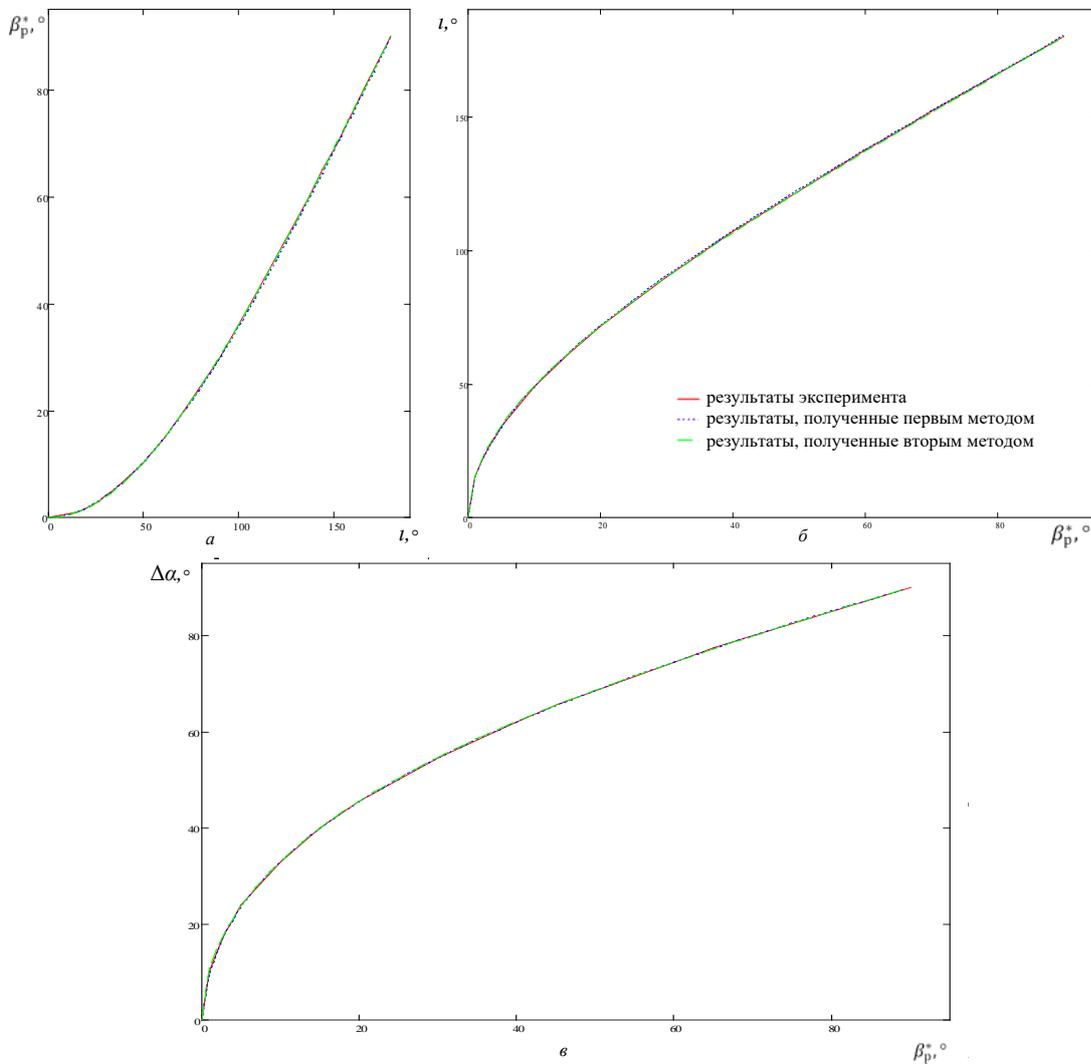


Рис. 5. Графики зависимостей: а – угла места от угла поворота вокруг оси I; б – угла поворота вокруг оси I от угла места; в – отклонения азимута от угла места.

Для расчета угла поворота вокруг оси V необходимо воспользоваться выражением 17, с учетом полученного значения $\Delta\alpha$ из выражений 36 или 37.

Таким образом, полученные выражения 29, 30, 32, 33 (или как частный случай выражения 34-37) более просты по сравнению с выражениями полученным первым методом и не требуют экспериментальных данных, однако могут значительно усложниться при рассмотрении конструктивно более сложных АФУ.

Произведем сравнение результатов полученных обоими методами с результатами эксперимента, изобразив их в виде соответствующих графиков (рисунок 5).

Как видно из графиков, представленных на рисунке 5, полученные расчетные данные близки к экспериментальным, однако не совпадают полностью, что объясняется погрешностью измерений с одной стороны и неточностью расчетов с другой. В качестве критерия допустимости отклонения рассмотрим ширину ДНА, таким образом, чтобы разница между расчетными и экспериментальными значениями, при равенстве углов поворота АФУ вокруг осей I и V, не превышала половину ширины ДНА в вертикальной и горизонтальной плоскостях:

$$|\beta_p^{*p} - \beta_p^{*э}| \leq \Theta_V / 2 \tag{38}$$

$$|\alpha_p^{*p} - \alpha_p^{*э}| \leq \Theta_H / 2 \tag{39}$$

Антенна, представленная на рисунке 2, является антенной зеркального типа, для которой $\Theta_V = \Theta_H = \Theta$, и в случае, если $D/\lambda > 0,7$ (D – диаметр рефлектора, λ – длина рабочей волны), ширина ДНА определяется следующим выражением [2]:

$$\Theta, ^\circ = \frac{18}{D, м \cdot F, ГГц}, \tag{40}$$

где F – рабочая частота.

Учитывая, что данное антенное устройство применяется, как правило, в диапазоне частот 6/4 ГГц и имеет диаметр рефлектора 2,5 м, получим $\Theta = 1,2^\circ$.

Соответствие критерию разницы между экспериментальными и расчетными значениями представлено в таблицах 3, 4 и на рисунке 6.

Таблица 3

Соответствие критерию разницы между экспериментальными и расчетными значениями, полученными первым методом

$\alpha_p^{*э}, ^\circ$	$\alpha_p^{*р}, ^\circ$	$\alpha_p^{*р} - \alpha_p^{*э}$	Соответствует критерию	$\beta_p^{*э}, ^\circ$	$\beta_p^{*р}, ^\circ$	$\beta_p^{*р} - \beta_p^{*э}$	Соответствует критерию
0	0	0	да	0	0	0	да
90	89,4	0,6	да	1	1,5	-0,5	да
90	89,9	0,1	да	2	2,1	-0,1	да
90	90	0	да	3	3,2	-0,2	да
90	90	0	да	4	4	0	да
90	90,4	-0,4	да	5	5,2	-0,2	да
270	270	0	да	10	10	0	да
300	299,9	0,1	да	20	19,7	0,3	да
0	0	0	да	30	29,5	0,5	да
150	150	0	да	40	39,8	0,2	да
180	180,1	-0,1	да	45	44,4	0,6	да
210	210	0	да	60	59,8	0,2	да
330	329,8	0,2	да	65	64,5	0,5	да
120	120	0	да	70	69,9	0,1	да
300	300	0	да	75	74,8	0,2	да
270	270,1	-0,1	да	80	79,7	0,3	да
-	-	-	-	90	89,7	0,3	да

Таблица 4

Соответствие критерию разницы между экспериментальными и расчетными значениями, полученными вторым методом

$\alpha_p^{*э}, ^\circ$	$\alpha_p^{*р}, ^\circ$	$\alpha_p^{*р} - \alpha_p^{*э}$	Соответствует критерию	$\beta_p^{*э}, ^\circ$	$\beta_p^{*р}, ^\circ$	$\beta_p^{*р} - \beta_p^{*э}$	Соответствует критерию
0	0	0	да	0	0	0	да
90	90,6	-0,6	да	1	0,9	0,1	да
90	90,5	-0,5	да	2	1,5	0,5	да
90	90,4	-0,4	да	3	2,6	0,4	да
90	90,2	-0,2	да	4	3,4	0,6	да
90	89,6	0,4	да	5	4,7	0,3	да
270	270	0	да	10	9,8	0,2	да
300	300	0	да	20	20	0	да
0	0,2	-0,2	да	30	20	0	да
150	150,2	-0,2	да	40	40,4	-0,4	да
180	180	0	да	45	45	0	да
210	210	0	да	60	60,4	-0,4	да
330	330,3	0,3	да	65	65,1	-0,1	да

120	120,1	0,1	да	70	70,4	-0,4	да
300	300	0	да	75	75,2	-0,2	да
270	270	0	да	80	80,1	-0,1	да
-	-	-	-	90	90	0	да

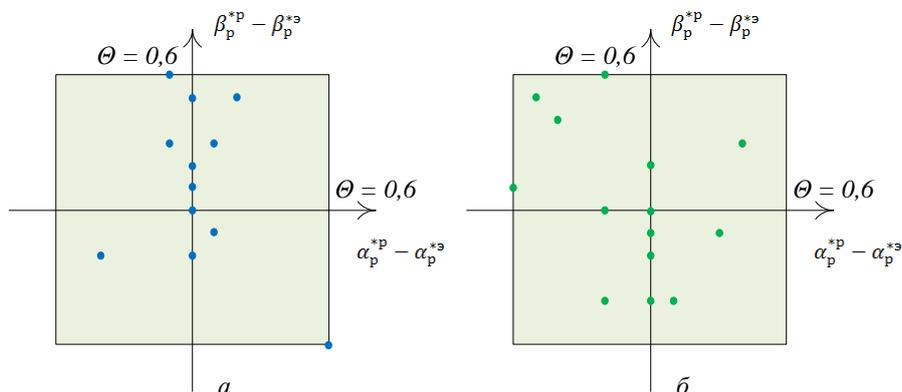


Рис. 6. Соответствие критерию разницы между экспериментальными и расчетными значениями, полученными первым (а) и вторым (б) методами

Таким образом, оба рассмотренных метода показали свою применимость в поиске соответствия между углами вращения вокруг осей АФУ и значениями азимута и угла места, а полученные значения соответствуют выбранному критерию, при этом каждый из методов, обладает своими преимуществами, которые следует учитывать в контексте конкретного антенного устройства.

Список литературы

1. Аболиц А.И. Системы спутниковой связи. Основы структурно-параметрической теории и эффективность. М.: ИТИС, 2004. С. 56.
2. Каменев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи: Учебное пособие. М.: «Альпина Паблишер», 2004. С. 41.

Плахов Алексей Валерьевич, сотрудник, alexey@list.ru, Россия, Орёл, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации,

Корнилов Александр Алексеевич, канд. техн. наук, aiez1984@yandex.ru, Россия, Орёл, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации,

Гришин Кирилл Андреевич, сотрудник, grishinkirill@ro.ru, Россия, Орёл, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации,

Шумов Кирилл Александрович, сотрудник, shumov-ka@mail.ru, Россия, Орёл, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

METHODS FOR CALCULATING ANGLES OF ROTATION OF AN ANTENNA-FEEDER DEVICE OF A SATELLITE COMMUNICATIONS EARTH STATION

A.V. Plakhov, A.A. Kornilov, K.A. Grishin, K.A. Shumov

Methods are proposed for calculating the rotation angles of the antenna-feeder device of a satellite communication earth station for perpendicular and non-perpendicular axes of rotation relative to each other. The influence of heading, roll and pitch of the antenna-feeder device placement site on the calculation results is taken into account. A comparative analysis of the presented calculation methods and an assessment of the results obtained were carried out.

Key words: satellite communication earth station, antenna-feeder device, target designation.

Plakhov Aleksey Valeryevich, employee, alexey@list.ru, Russia, Orel, Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation,

Kornilov Alexander Alekseevich, candidate of technical sciences, aiez1984@yandex.ru, Russia, Orel, Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation,

Grishin Kirill Andreevich, employee, grishinkirill@ro.ru, Russia, Orel, Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation,

Shumov Kirill Aleksandrovich, employee, shumov-ka@mail.ru, Russia, Orel, Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ СЕРВИСОВ САЙТА АРМАТУРНОЙ КОМПАНИИ

С.Л. Горобченко, Д.А. Ковалев, С.А. Войнаш, С.А. Мешков, Р.И. Кочубей

Рассмотрены вопросы повышения эффективности создания сайтов арматурных компаний, основанных на принципах самоорганизации и самостоятельной работы клиентов. Определены основные проблемы работы отделов повседневных продаж арматурных компаний и их клиентов. Показаны основные направления совершенствования сайтов и продемонстрирована детализация сервисов, необходимых для эффективного взаимодействия с клиентами арматурных компаний. Приведены примеры анализа работы сайтов и выделения основных требований на основе приведенного подхода.

Ключевые слова: сайт, интерактивное взаимодействие клиента и компании-поставщика арматуры, управление потоком запчастей, основные виды сервиса сайта, интерактивные спецификации, интерактивные каталоги, автоматизированный документооборот, расширенная графика, генератор 3D чертежей, технические средства сервисов сайта.

Сайт во многих арматурных компаниях уже стал основным инструментом для представления своей продукции и коммуникаций с потребителем. Но этим не ограничиваются возможности, которые представляют интернет и IT технологии. На их базе могут разрабатываться различные платформы обработки данных для получения значимой информации, проведения заказов и пр. Широко входят в работу компаний системы, основанные на автоматизации управления жизненным циклом продукции. При этом современные веяния, такие как ведение своих страничек в социальных сетях по-прежнему играют вспомогательную роль и в большей степени связаны с удобством пользования потенциальными клиентами, чем с организацией работы имеющихся клиентов [1].

Задачей статьи стало выявление того, чем должен обладать сайт для крупной арматурной компании. Для этого был выбран современный подход к форматированию сайта, в большей степени отвечающий самостоятельной работе клиентов и пользователей и самонастройке сайта под их информационные потребности. Для этого требуется определить, как может развиваться сайт крупной компании для обслуживания клиентов в режиме повседневных продаж, поставки запчастей и послепродажного обслуживания.

Проблемы отделов послепродажного обслуживания и обоснование цифровизации. Все компании должны обеспечивать поставку арматуры на замену и поставку запчастей на срок до 10 лет в соответствии с Положением о поставке продукции производственно-технического назначения, принятым в РФ и СНГ и на экспорт - Женевской конвенцией о поставке продукции производственно-технического назначения для Европейских производителей. Они близки по формулировкам. Однако выполнить это не просто из-за трудоемкости и финансовой неэффективности администрирования поставок запчастей.

Таким образом, отказаться от поставок запчастей компании не могут, в тоже время это очень дорого как для компании-поставщика, так и для клиентов. Решение может заключаться в интеграции системы документооборота для клиентов и поставщиков на основе информационных технологий. Рассмотрим пример.

Пример. Чтобы выявить возможности повышения эффективности документооборота по приобретению запчастей с применением компьютеризации и изменения существующей системы закупок был проведен анализ закупок на 4-х крупных целлюлозно-бумажных комбинатах за четырехлетний период.

За указанный период на предприятия поставлялись клапаны и запчасти. Из них на запчасти пришлось 58% по количеству, однако, это составило всего 6,3% от общей стоимости. При этом средняя цена 1 ед. ЗИП составила не более 240 Евро. Среднее количество запчастей в заказе составляло до 78%. Доля заказов запчастей в общем количестве заказов составила 31%. Средняя цена предложения на запчасти составила не более 650 Евро, при средней стоимости прохождения заказа по предприятию 150 Евро (ориентировочно), что составляет дополнительный накладной расход примерно 20% к стоимости проводимого заказа. Наиболее потребляемыми оказались всего 8% от общей номенклатуры, еще 20% имели среднюю потребляемость и достаточную регулярность потребления. Максимальное количество запчастей по номенклатуре и в тоже время минимальное по количеству составило 70%.

Анализ показал, что наиболее востребованными были клапаны диам. 50мм, что может послужить основанием для большей унификации в поставке и сокращения расходов, включая расходы на обработку заказа. В общем количестве доля клапанов диам. 80 мм и ниже составила 21%, занимая по доли от общей стоимости поставок только 4,8%.

Сравнивая данные по стоимости одного заказа с ориентировочными оценками по проведению заказа, можно сказать, что во многих случаях они не являются выгодными как для поставщика, так и для потребителя, как по запчастям, так и по клапанам малых диаметров. При этом здесь находится и основная доля накладных расходов, связанных с проведением заказа, на которые и ложится большая доля рутинной работы по организации документооборота. Она и должна подлежать в первую очередь переводу на обработку с использованием информационных технологий.

При реализации концепции сайта для компании обеспечивается облегчение и упрощение работы отдела поставки клапанов и запчастей со значительным снижением организационных затрат на обработку запросов и заказов; часть работ может быть переведена на цифровую платформу. Появляется возможность доступа к формированию бюджетных предложений не только коммерческого отдела компании, но и специалистов КИП, что вызывает волну дополнительных предложений по клапанам, например, для ТЭО и мелких модернизаций без внутренних "проволок" коммерческих отделов внутри крупных предприятий-потребителей. Это позволяет давать оценку возможным решениям в прямом контакте: «технический специалист компании-потребителя» – «коммерческий или технический специалист компании-производителя клапанов». Обеспечивается простота управления и контроля запросов с сайта.

Основные положения для сайта повседневных продаж. Сайт повседневных продаж может стать дополнительным к основному сайту компании. Сайт служит для развития информационной инфраструктуры, развития

коммерческой деятельности и электронных услуг. Функции сайта – поддержка пользователей в ознакомлении с продукцией компании и помощь для отраслевых отделов и отдела сервиса компании в формировании и проведении заказа.

Сайт может развиваться в варианте:

1. «интернет магазин»;
2. «он-лайн-контракт» с бронированием клапанов со склада компании, состояния поставки (данных логистики по задержкам), получения бюджетных предложений для зарегистрированных пользователей и прайс-листа, информации о проведении заказа и наличия требуемой номенклатуры на складе для дилеров и т.п.;
3. «сервис и обслуживание» - заказ запчастей, горячие вопросы по сервису, каталоги запчастей и др. При форме дистанционного обслуживания для компаний, с которыми подписан сервисный договор, данные о неисправностях и их обработка для планирования запчастей могут проводиться в персональном кабинете компании-пользователя;
4. «пользовательский клуб» и форумы специалистов по клапанам (для целей выявления проблем и потребностей по клапанам);

Основное развитие сайта может идти в направлении CRM (customer relationship management), маркетинга партнерских отношений, персонализации массовых услуг, стандартизации входа в окна проведения логистических операций и др.

Участники

Новый сайт может служить для поддержки работы отделов в режиме повседневных продаж. Основные участники и функции сайта:

- Коммерческие отделы. Организация окон в разделе «продукция» в соответствии с номенклатурой основного сайта компании.
- Партнерские компании. Создание закрытого раздела для зарегистрированных пользователей с возможностью доступа к ценовой информации.
- Сервисные отделы и компании. Организация доступа к складу и бронированию позиций на складе для отдела сервиса и компаний, с которыми заключены сервисные соглашения.

Технические требования сайта для отдела повседневных продаж компании

Должны выполняться следующие требования:

1. Рабочий сайт по модели «интернет магазин» с возможностью самостоятельно рассчитывать и подбирать клапаны (вводится программа расчета), технические каталоги, инструкции по эксплуатации, материалы по применению, вспомогательные материалы, переводы, статьи и т.п.
2. Основные подразделы:
 - 2.1. подразделы по отраслям: просмотр и выбор в корзину запчастей, клапанов и т.д. по ключевым словам, применению и наименованию;
 - 2.2. сервис: с возможностью "скинуть" выборку запчастей в корзину по наименованию, получить цены, распечатку и информацию о наличии запчастей на складе;
 - 2.3. логистика: информация о задержках, примерные тарифы транспортировки или ссылки на сайты партнерских транспортных компаний, позволяющих провести такие расчеты;
3. Сайт должен основываться на общем шаблоне основного сайта компании.
4. Прайс-лист на клапаны должен использоваться только зарегистрированными пользователями и иметь возможность меняться раз в месяц. Прайс-лист должен иметь возможность расчета цены по подпрограмме расчета основных элементов, сборки, тестирования и алгоритма сложения для получения окончательной цены.
5. Общая технология работы специалистов на сайте:
 - 5.1. пользователь по ссылке находит программу расчета клапанов. Скачивает ее, заполняет опросный лист и получает расчетный вариант клапана вместе со всеми необходимыми графиками;
 - 5.2. расчетный вариант клапана перепроверяется по скачиваемой программе подсказки по применению; в рекомендательном порядке дается альтернатива клапана. Далее пользователь выбирает окончательный вариант и должен получить цену на клапан (запчасти). Как альтернативный путь - набрать все в корзину и получить предложение;
 - 5.3. если пользователь уже имеет код запчастей (клапанов), то, набрав код клапана и сбросив его в корзину, получает цену после подтверждения логина.
 - 5.4. Цены формируются в список в варианте просмотра и для печати. Выбранные условия поставки могут дать примерную цену транспортировки.
6. В основу дизайна закладываются логотипы и стиль фирменных буклетов, с тем, чтобы внешний вид сайта полностью соответствовал маркетинговой политике компании.
7. Сайт используется как справочник по продукции компании и в этом качестве он будет доступен всем посетителям. Однако сделать заказ смогут только пользователи, имеющие логин, предоставленный компанией. Справочник становится доступным только при регистрации на сайте, что даст дополнительную информацию об организациях, заинтересованных в информации по продукции компании, и позволит использовать эту информацию для продвижения ее продукции;
 - 7.1. на сайте приводится информация о новостях, семинарах, конференциях и достижениях компании; полезные ссылки на сайты по теме;
 - 7.2. на сайте может быть форум для консультирования в системе он-лайн по вопросам обслуживания продукции компании.

Пример разработки концепции сайта с учетом представленных технических требований показан в табл.1.

Требования к разработке раздела "Документация". Подготовка документации для поставки в арматурной отрасли является одной из наиболее "нелюбимых", затратных операций и в тоже время требующих безошибочных действий и квалифицированного труда. Однако эти операции могут быть в высокой степени автоматизированы при использовании специальных подпрограмм. Компьютерная обработка данных в сочетании с интернет-технологиями создает совершенно новые подходы к управлению поставками запчастей и создает возможности лучшего обслуживания клиентов со снижением затрат компаний на обработку заказов в отделах послепродажного об-

служивания и запчастей. Исследования компании Bain & Co на 7000 крупнейших компаний показало, что использование таких технологий и e-commerce способно дать до 35% роста в продажах и до 24% в снижении затрат на обработку заказов. Конечно же, это приводит к росту удовлетворенности клиентов.

За последние годы резко выросло применение специальных программ для обработки заказов на запчасти в промышленном секторе, что связано со все большим использованием интерактивных каталогов. Новые подходы к организации обработки заказов с большим применением интерактивных технологий используются по следующим основным причинам, рис. 2.

Таблица 1

Основные элементы и сервисы окна повседневных продаж сайта

Наименование сервиса		Описание
Интернет магазин		Сервис организации продажи через сайт с работой по он-лайн запросу, системой навигации, выпадающим списком меню, всплывающими окнами с появлением дополнительного блока информации в том же окне при наведении, страницами продукции, наполнением сайта содержательной информацией; возможностью редактирования контента, поиска по сайту и статистикой посещаемости.
Описание сервисов		
1	Каталог продукции	Сервис многоуровневого каталога продукции и управления им (редактирование, добавление, удаление разделов, подразделов, информации о продукции). К единице продукции загружается фотоизображение. На основании добавленного фото формируется превью для списка выбранной продукции. Демонстрация клапанов в 3D, с возможностью выделения сервисов «сборка - разборка», определение детали, узла, расходных материалов по виду или по коду.
2	Разграничение отображения каталога	Сервис отображения информации каталога с зависимости от того, кто на сайте: партнер или посетитель с использованием логинов.
3	Фильтр по каталогу	Сервис быстрого подбора продукции каталога по заданным параметрам.
4	Справочник каталога	Сервис управления внутренними справочниками каталога (добавление, удаление, редактирование).
5	Сортировка данных каталога	Сервис сортировки информации, размещенной на сайте по различным параметрам.
6	Акции, специального предложения каталога	Сервис формирования на сайте акций, спецпредложений в рамках заданного периода. К предложению загружается фотоизображение и прикрепляется до 3-х единиц продукции каталога, на которые данное предложение распространяется.
7	Корзина	Сервис добавления выбранной продукции на сайте в корзину, расчета и отправки заказа на электронную почту владельца сайта.
8	История заказов	Сервис, хранящий историю заказов, с привязкой к пользователю сайта.
9	Версия для печати	Автоматическое формирование печатной версии страницы сайта.
10	Авторизация на сайте	Сервис регистрации и создания учетной записи, предоставляющий посетителю сайта дополнительные возможности.
11	Привязка пользователей к договору	Ведение базы партнеров с привязкой номера договора.

Сильные решения в этой области должны гарантировать создание, управление и распечатывание готовых спецификаций на CD, DVD, и пр., а также обеспечивать полную доступность он-лайн. При этом должна достигаться легкость интеграции в рабочие процедуры компании. Быстрота обработки запроса в многочисленных вариантах с целью выбрать оптимальный для компании-заказчика обеспечивает значительное повышение конкурентоспособности компаний, поставляющих арматуру и особенно запчасти. При внедрении подпрограмм, гарантирующих накопление информации об использовании запчастей, могут быть созданы настройки, способные предупреждать специалистов заказчика о необходимости бронирования и закупки запчастей.

Главной трудностью, почему это нельзя сделать силами самих компаний, несмотря на наличие форм Excel, Word и прочих широкодоступных инструментов, состоит в специфике комплексной обработки документации, а также обусловлено трудностями овладения для персонала многочисленными разрозненными IT программами. Значительно проще работать по одной программе, которая направляет пользователя по каждому этапу от создания каталога, с импортом чертежей, описаний до дальнейшей обработки каталога, вплоть до его ревизий и обновлений.

Требования к техническим средствам для формирования интерактивных спецификаций

Обычным проблемой на предприятиях является разрозненность документации, находящейся в коммерческих и технических отделах заказчика. Она может быть распределена в различных форматах – в виде кодов, записей от руки, таблиц, описаний и пр. Все это рождает ошибки, бесконечные сверки и значительные потери времени на рутинные операции.

Чтобы избежать этих проблем, необходимо сформировать единый блок документирования и обеспечить его техническими средствами. Выделение терминала для проведения операций по частям от определения неисправных деталей при помощи программно-диагностического комплекса; формирования дефектной ведомости, поддерживаемой базами и графикой на дисплее; с одновременным нахождением кодов деталей и внесением их в закупочную спецификацию позволяет значительно снизить объем работы разных отделов, сосредоточить основную работу внутри технического отдела, резко уменьшить потери времени на организацию и формирование заказов и их отслеживание. Примеры применяемых технических средств, в основном на основе планшетов и мобильных телефонов приведены на рис.3.

Требования к интеграции и автоматизации документооборота

Введение интегрированного документооборота между компанией и заказчиком по частям имеет множество достоинств. Такой документооборот способен резко снизить затратность и рутинность этих операций. Ниже приведены основные возможности и требования к проведению документальных операций для клиентов и внутри компании при использовании информационных технологий, табл.2.

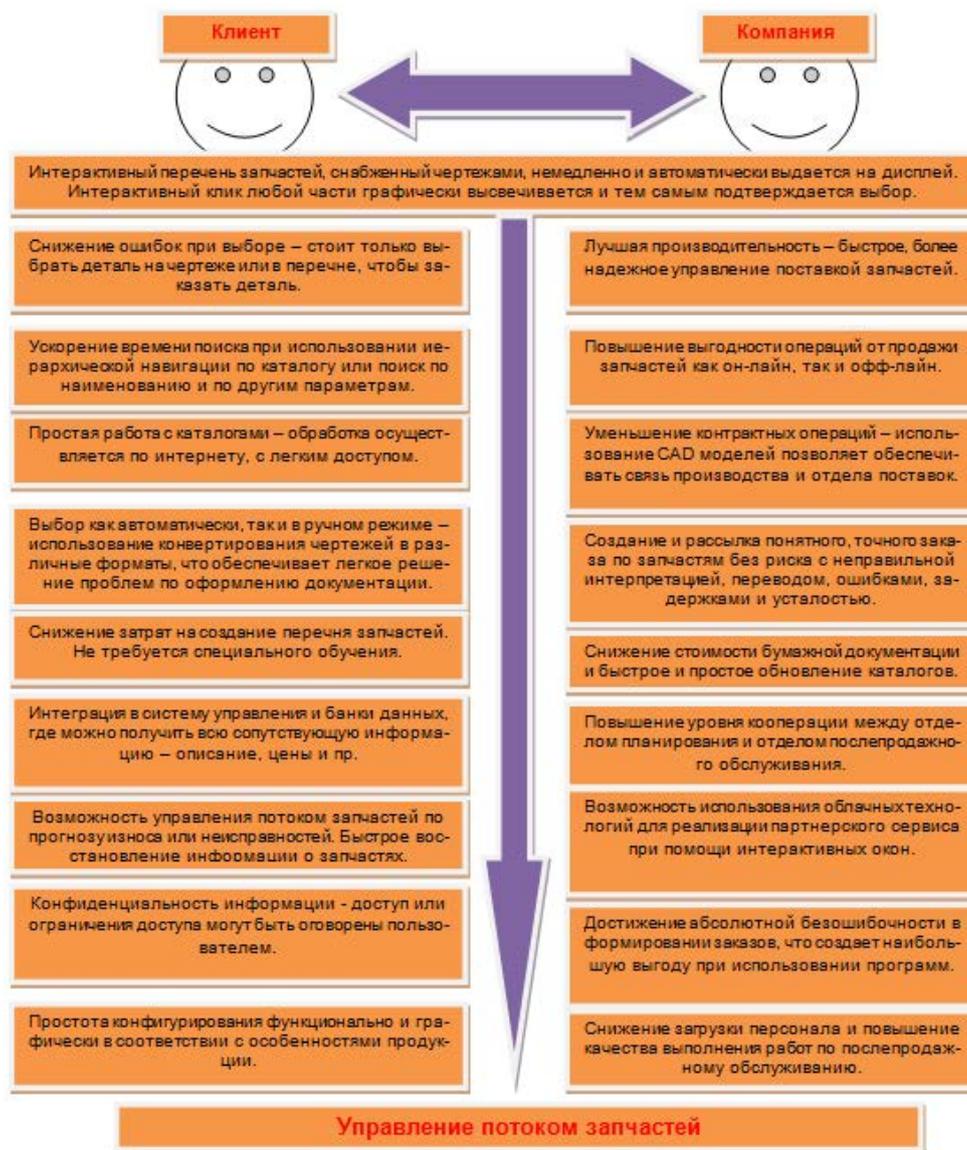


Рис. 2. Преимущества применения интерактивных технологий для клиентов и компаний производителей



Рис. 3. Технические средства для обеспечения интерактивного режима в выборе запчастей

Таблица 2

Требования к документообороту	
Заинтересованная сторона	Требования к документообороту
<u>Клиенты</u>	- последние версии каталога на требуемых языках 24 часа в сутки; - быстрый поиск по коду, описанию, серийному номеру, при использовании различных фильтров и др.; - применение интерактивной консультации по каталогу, выполняемое с помощью индекса продукции или посредством навигации по графическому дисплею; - интеллектуальная печать каталога – распечатка в выбранном формате, выбранной области и пр.;
Технические специалисты клиента	- должна обеспечиваться как можно более прямая поддержка пользователя, желательно любым способом и в любое время (ПК, интернет, мобильный телефон и пр.) с просмотром через удобный интерфейс он-лайн и офф-лайн; - быстрое нахождение необходимой детали по коду, серийному номеру, по любому другому параметру и карте навигации.
<u>Компания</u>	
Технический отдел	- импорт чертежей и таблиц технических данных в растровом и обычном изображении; - различные графические пакеты, включая 3D для обработки чертежей и текстовых данных; - простой импорт перечня запчастей и его состыковка с другими частями заказной спецификации.
Отдел запчастей	- формирование заказной спецификации с минимальными затратами времени и труда; - легкое выявление ошибок; - использование интерактивных каталогов.
Отдел подготовки документации	- возможность распечатки спецификаций, коммерческих предложений, инвойсов и др. на CD, и он-лайн в различных форматах, как стандартных, так и персонализированных; - поддержка формата печати, как у клиента, так и у компании с распечаткой логотипов; - поддержка форматов для сшивания и скрепления документов.
Отдел маркетинга	- изготовление каталогов с полями, предназначенной для информации по продвижению продукции; - вставка логотипа компании, изображений, рекламы, а также контактной информации, вставляемой в каждой части каталога; - каталог может быть сформирован так, чтобы только авторизованные пользователи имели доступ к его просмотру.
Отдел продаж	- отсутствие ошибок при заказе, ясность и четкость. Возможность введения персонализированных скидок и их расчета с расчетом стоимости с учетом всех дополнительных наценок, например, налогов, банковских расходов и пр.

Требования к ускорению и улучшению операций по проведению заказа

Для реализации этих требований должны предусматриваться специальные требования к интерактивному каталогу и достаточно много обеспечивающих функций. Например, должны быть предусмотрены вставки либо одной детали, либо целого комплекта, должны быть разработаны универсальные формы для заказа. Предусматривается выбор количества, добавление комментариев по способу отправки, подтверждение правильности ввода заказа, отображение как содержания выбранной корзины (по выбранной номенклатуре), так и отображение всего заказа, табл.3.

Таблица 3

Примеры функций интерактивного каталога

Функция	Описание
Запрос о технической поддержке	Использование функции «Техническая поддержка» при помощи заполнения специальной формы, где указывается проблема
Печать	Использование каталога или его части для печати, включая списки деталей, сборочные чертежи на одной и более страницах.
Язык	Использование русского, английского и других языков, включая нелатинские символы

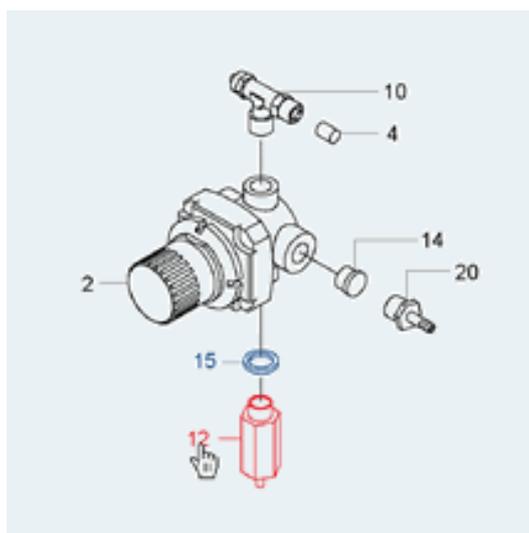


Рис. 4. Интерактивный режим с выделением цветом

Требования к управлению каталогом и формированию спецификации запчастей

Возможности работы программы должны создавать условия для обработки неограниченного количества запчастей в любые сроки без ограничения на количество включаемых позиций.

Общие требования к комплектации каталога

В рамках подпрограммы «редактирование» должны использоваться основные разговорные языки, например, русский, английский, французский, немецкий, испанский, португальский.

Вводятся команды для управления проектом: для публикации, импорта данных, печати и др.; команды для индикации чертежей; команды изменения чертежей (поворот, вращение, углы, наклон, текст, масштаб и пр.) для обеспечения работы с чертежами, рис.4.

Описание основных функций, требуемых для работы интерактивного каталога, представлено в табл.4.

Таблица 4

Основные функции, выполняемые при работе интерактивного каталога

Функция	Назначение
Функция "Содержание команд"	Для управления каталогом должен быть предусмотрен перечень содержания с обеспечением полной навигации. Использование функции «Содержание» должно обеспечивать быстрый, легкий поиск и консультацию.
Функция "Графическая доска"	Графическая доска должна обеспечить такие функции как «Импортировать», «Редактировать» и работать с любым типом технических чертежей и фотографий, включая растровые изображения.
Функция "Выбор объектов, контроля границ и выравнивания"	Обеспечивает выбор объектов контроля, их границ и выравнивание.
Функция "Импорт изображений"	Обеспечивает работу с сочетаемыми с CAD форматами. Делает возможным для отдела послепродажного обслуживания и документации самостоятельную работу по формированию полных спецификаций без затребований чертежей из отдела проектирования и расчета арматуры
Функция "Графический редактор"	Автоматическое распознавание типа рисунка
Функция "Импортирование спецификации запчастей"	Ручное и автоматическое создание спецификаций.
Функция "Печать файлов"	Печать файлов
Функция "Viewer"	Функция для пользователей, не являющихся специалистами в области IT. Функция создает возможности для отсылки точного заказа по электронной почте, факсу или их распечатки.
Функция "Печать он-лайн"	Обеспечивается функция подготовки проекта спецификации в интерактивном режиме с одновременными комментариями со стороны пользователей.
Функция "Распечатка каталогов"	Модуль предназначается для создания и адаптации функции печати с целью обеспечить получение профессиональной документации с особым вниманием к графике.
Функция "Создание формата печати"	Функция должна позволить создание неограниченного числа форматов печати для максимального удобства к формату продукта и языку и использования в печати логотипов компании и изображений из внешних источников.

Возможности формирования такого формата демонстрирует рис. 5 и 6.

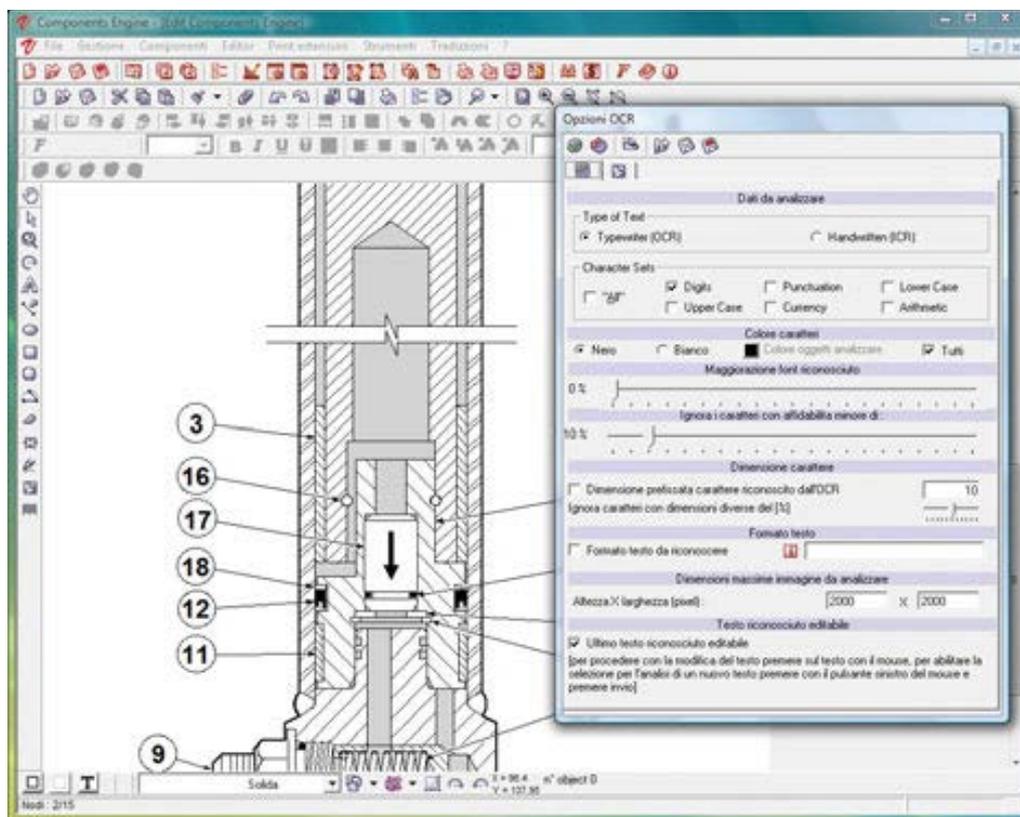


Рис. 5. Окно обеспечения импорта запчастей по чертежу

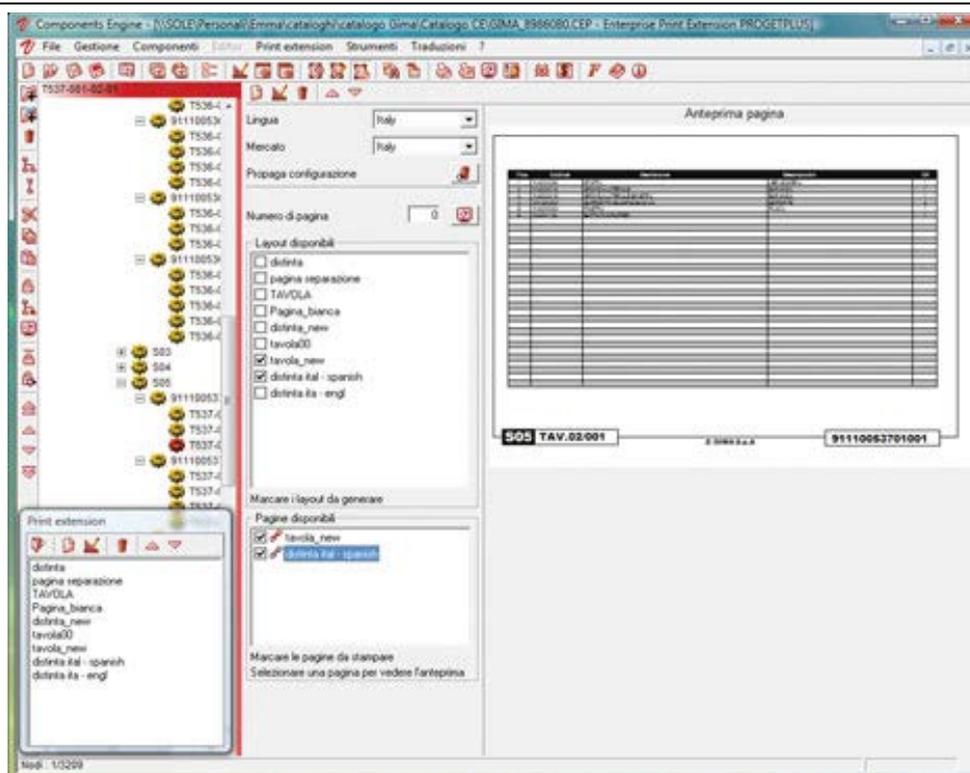


Рис. 6. Окно организации распечатки спецификации запчастей

Расширение возможностей графики

Расширенные возможности графики должны обеспечивать быстрый импорт изображений и технических таблиц, табл. 5.

Таблица 5

Основные модули расширенной графики интерактивного каталога (фрагмент)

Функция	Описание
Графические функции	- генерация автоматических пиксельных изображений; - управление группированием объектов; ...
Функции управления изображениями	предусматривается использование большинства стандартов изображений dxf, dwg, wmf, emf, tiff, jpg, png, gif, bmp, psx, pdf, eps, cgm, 3D и др. ...
Функции расширенной печати	- должны создаваться неограниченное количество печатных форматов. ...
Функции печати на CD	- управление языком; ...
Функции печати онлайн	- выбор директория для печати; ...
Функция управления спецификацией запчастей	- создание многоязыковых каталогов; - конфигурация структуры спецификации запчастей по различным критериям; ...

Как следует из нашего анализа, существуют решения по формированию интерактивных каталогов с эффективным набором функций. Переход к интерактивному формированию спецификаций позволяет полностью управлять организацией разработки спецификации запчастей, расчетом их цены; дает возможность применять базы данных о текущем наличии на складе, формировать отгрузочные партии и быстро оформлять всю отгрузочную документацию. Достигается большая интеграция с терминалами у конечных пользователей по подготовке заказа или дилеров. Все это способно значительно сократить время подготовки и оформления заказа, снизить рутинность работы и значительно сократить расходы, как арматурных компаний, так и клиентов на проведение заказа. Уже сегодня интерактивные окна, создаваемые на основе подпрограмм каталогов, обработки информации, он-лайн отслеживания заказов, входят в системы интернет-порталов крупных компаний, создаваемых на основе облачных технологий. Они позволяют еще больше раскрыть потенциал, предоставляемый как интернетом, так и использованием современных интернет-платформ для работы с документацией, рис 7.

Использование множества расчетных модулей позволяет еще больше интегрировать данные и находить новые более глубокие способы интеграции с клиентом. Это отчетливо видно из приведенного ниже примера.

Пример. Эффективное управление потоком запчастей и складским остатком по технологии ABC-анализа [2].

Для приведенных материалов расчета потребляемости запчастей для 4-х комбинатов, см. выше, был сгенерирован отчет по потреблению запчастей, рис. 8.

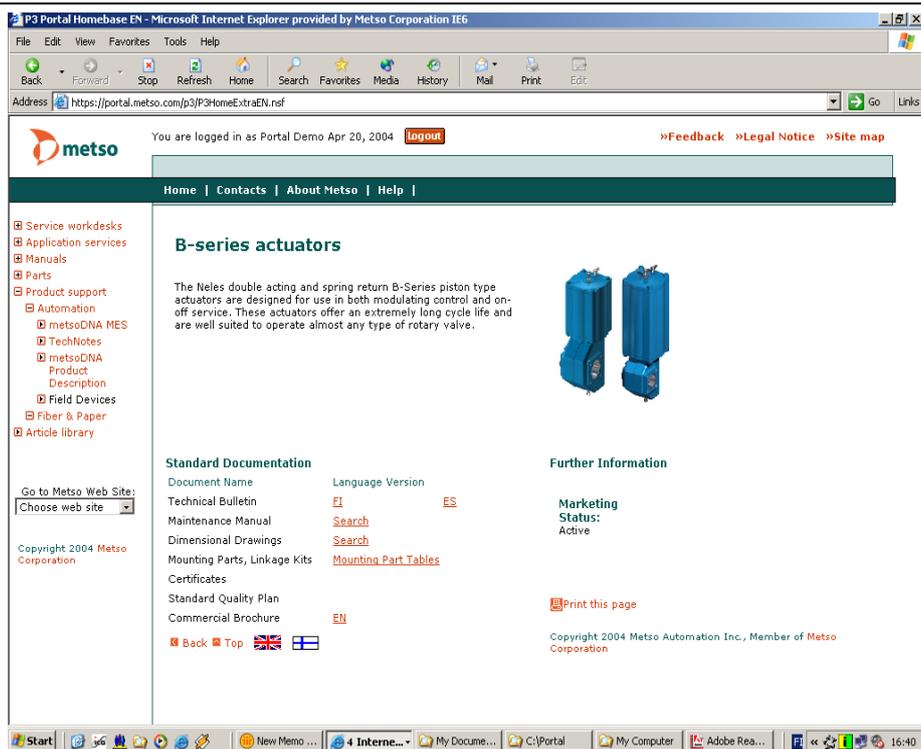


Рис. 7. Окно «Клапаны» интернет-портала для работы с заказчиками по облачной технологии компании Metso. www.portal.metso.com

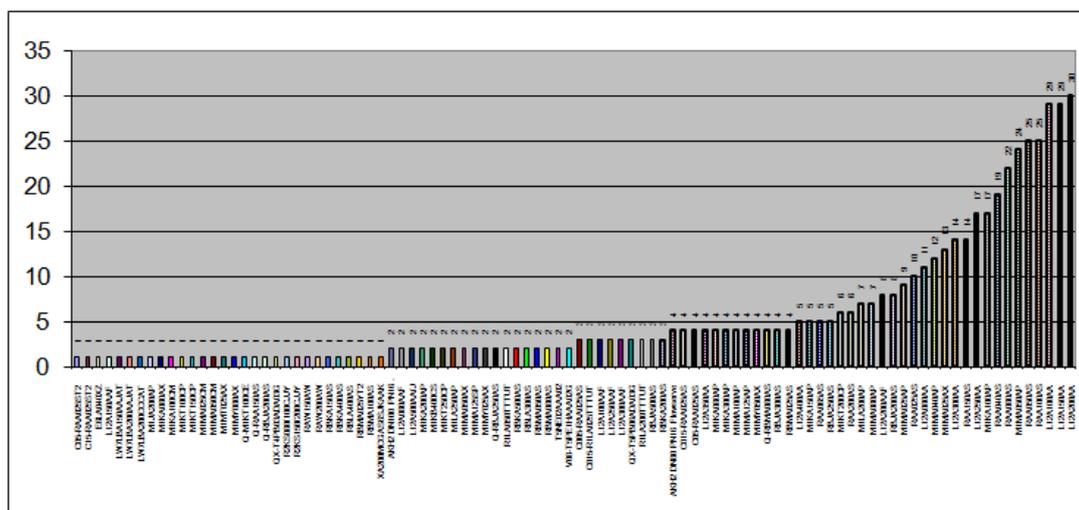


Рис.8. Потребляемость клапанов

Для планирования хранения с учетом складских затрат, нормативов оборачиваемости и процента по кредиту, хранение было разбито по группам А, В и С, где:

- А - 10% наименований, составляющих 70% потребления,
- В - 30% наименований, составляющих 22% потребления,
- С – 60% наименований, составляющих 8 и менее % потребления.

Расчеты показали, что всего под группу А попадают примерно 21 поз. Общий объем хранения составил примерно на сумму 16.000 Евро, а с учетом страхового запаса по аварийным позициям до 24.000 Евро. Барьер для группы А в 5 единиц превысили 6 типоразмеров, для группы В в 2-5 ед. – 9 типоразмеров клапанов.

Это позволило сделать выводы о стратегии хранения с учетом стоимости и потребляемости запчастей. Общий объем хранения на складе может составить по 1-2 шт. каждой номенклатуры, общей стоимостью 33 600 Евро. С учетом страхового запаса с коэф. 2, клапанов может храниться на сумму 67 200 Евро.

Планируется иметь на складе запчасти только групп А и В. Остальные будут храниться на складе сервисного центра или завода-изготовителя с доставкой по запросу. В итоге такая система оказывается в целом дешевле, чем омертвление на складе большей части наименований или закупки в аварийном порядке. Взаимная выгода ожидается при достижении оборачиваемости и выхода на плановые показатели оборачиваемости склада не менее 2-3 раз в год.

С учетом данных по периодам ТО, заложенных трендов износа, система способна сообщать пользователю о приближающемся времени износа быстрознашивающихся деталей или необходимости пополнения склада. Разра-

бываются методики поиска одинаковых деталей с целью большей унификации деталей. Основную роль в этом играют интерактивные средства накопления и обработки данных.

Интерактивный генератор чертежей. Создание чертежей является одним из важных элементов проектирования спецификации и формирования практически готовых трубных обвязок, что резко облегчает работу проектировщиков. Хорошим примером является программа формирования 3D чертежей RapidDraw3D и их использование в проектировании, монтажных и сервисных работах [3], см. пример ниже и рис. 9.

Пример. Генератор чертежей 3D RapidDraw3D в компании Neles. При помощи нового программного обеспечения – генератора чертежей клапанов в 3D, создаются новые возможности упрощения работы специалистов по монтажу, проектированию, сервису и пр. Оно позволяет пользователям быстро создавать реалистичные, в масштабе, 3D виды клапана и экспортировать их в любой программе САД для использования в схемах трубопроводов. Ранее, рисование простых символов, чтобы представить на чертеже сложные арматурные узлы в программе САД, оставляло много нерешенных вопросов, таких как: что за компоненты приведены, как их масштабировать, где находятся электрические, воздушные или пневматические соединения.

Для использования RapidDraw3D выбирается нужный клапан и приводы. RapidDraw3D автоматически отображает монтажный комплект для выбранной спецификации клапана, что позволяет пользователю затем легко выбрать положение привода и подобрать аксессуары, такие как позиционеры, соленоиды и т.д.

Последним шагом является выбор соответствующего выходного файла на основе САД или других пользовательских программ (PDF, AutoCAD, SolidWorks 2D, SolidWorks 3D, DXF, STEP, IGES, Parasolids и т.д.). Реалистичный формат 3D может быть загружен из интернета для импорта в выбранную программу САД. Эти 3D-файлы остаются на сервере RapidDraw3D в течение 90 дней, таким образом, они могут быть обновлены и легко извлекаются.

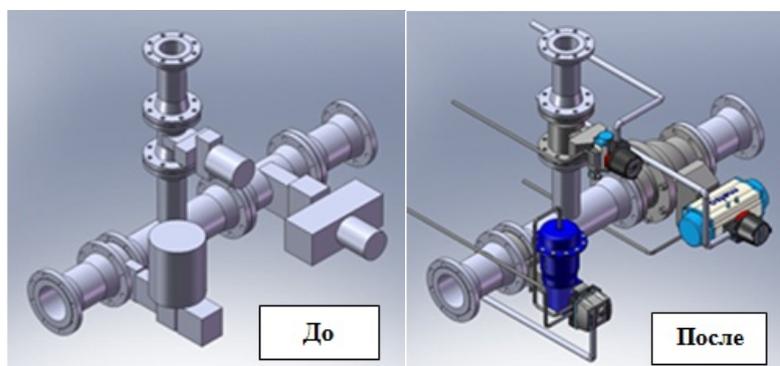


Рис. 9. использование 3D-моделирования для построения монтажных схем трубопроводов (компания Neles)

Заключение. На примере разработки требований к сайту для отделов повседневных продаж и отделов запчастей, наиболее страдающих от массовых запросов с низкой финансовой отдачей, можно видеть, как современные интернет-сервисы сайта способны резко повысить эффективность документооборота и решить множество вопросов, для чего раньше приходилось привлекать большое количество менеджеров, коммерческих и технических специалистов и даже аутсорсеров, как правило, студентов профильных вузов.

Способность быть ближе к клиенту, но более не утруждать себя рутинной работой становится основным требованием к информатизации операций в таких отделах. А применение облачных технологий, способных обеспечить полную рабочую платформу для работы с огромной номенклатурой запчастей простой и легкой – дело уже ближайшего будущего.

Список литературы

- Суриков В.Н., Горобченко С.Л. Современные подходы к сервисному обслуживанию трубопроводной арматуры. Запчасти в работе консигнационного склада и сервисного центра // «Вестник арматуростроителя», № 6 (34) 2016. Режим доступа: <https://armavest.ru/archive/2016/vestnik-armaturostroiteleya-vypusk6-34-2016/>
- Горобченко С.Л. Курс «Менеджер по запчастям». Учебное пособие для слушателей дистанционных курсов. Изд. Литрес, 2018. Режим доступа: <https://www.litres.ru/stanislav-lvovich-go/kurs-menedzher-po-zapchastyam-uchebnoe-posobie-dlya-s/>
- Программное обеспечение Neles Valve. Цифровые инструменты для калибровки, выбора, рисования, поддержки и настройки PID клапанов. <https://www.neles.com/valves-services/valve-software/>

Горобченко Станислав Львович, канд. техн. наук, sgorobchenko@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,

Ковалёв Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент, d.a.kovalyov@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,

Войнаш Сергей Александрович, младший научный сотрудник, sergey.voi@mail.ru, Россия, Рубцовск, Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,

Мешков Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, meshkovsergey@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

Кочубей Руслан Иванович, преподаватель, ruslannk@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного.

MODERN APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF SERVICES FOR A VALVE COMPANY WEBSITE

S.L. Gorobchenko, D.A. Kovalev, S.A. Voinash, S.A. Meshkov, R.I. Kochubey

The issues of increasing the efficiency of creating websites for valve companies based on the principles of self-organization and independent work of clients are considered. The main problems of the daily sales departments of valve companies and their clients are identified. The main directions for improving websites are shown and the detail of services necessary for effective interaction with clients of valve companies is demonstrated. Examples are given of analyzing the operation of sites and identifying the main requirements based on the above approach.

Key words: website, interactive interaction between the client and the valve supply company, management of the flow of spare parts, main types of website services, interactive specifications, interactive catalogs, automated document flow, advanced graphics, 3D drawing generator, technical means of website services.

Gorobchenko Stanislav Lvovich, candidate of technical sciences, sgorobchen-ko@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,

Kovalev Dmitry Aleksandrovich, candidate of technical sciences, docent, d.a.kovalyov@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,

Voinash Sergey Alexandrovich, junior researcher, sergey_voi@mail.ru, Russia, Rubtsovsk, Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University,

Meshkov Sergey Anatolyevich, candidate of technical sciences, docent, meshkovcer-gev@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Baltic State Technical University "VOENMEH" named after. D.F. Ustinova,

Kochubey Ruslan Ivanovich, teacher, ruslannk@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny

УДК: 621.317

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-287-288

НЕКОТОРЫЕ СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

А.А. Самохвалов, Е.В. Фатянова

В статье рассмотрены некоторые современные существующие системы передачи данных. Сделана попытка дать определение системы передачи данных и предположительно показаны перспективные направления развития.

Ключевые слова: информация, система передачи данных, обмен данными, маршрутизаторы, мультиплексоры, витая пара, интернет.

С момента зарождения на земле человека ему требовалась различного вида информация. В современном обществе можно выделить три основных вида информации: - личную, специальную и массовую. Личная информация касается тех или иных событий в личной жизни одного человека или группы людей. Научно-техническая, деловая, экономическая, учётно-статическая, управляющая и другая – это специальная информация. Массовая информация распространяется через средства массовой информации: - газеты, журналы, радио, телевидение, интернет и др. [1]. Современный человек нуждается в постоянном обмене данными, которые передаются через современные системы передачи данных.

Система передачи данных (СПД) - система, предназначенная для передачи информации как внутри различных систем инфраструктуры организации, так и между ними, а также с внешними системами.

СПД является, прямо или косвенно, основной технической составляющей работоспособности практически любых средних и крупных организаций, а также многих малых компаний, использующих современные средства управления своим бизнесом. СПД с каждым годом становится все более универсальной средой для передачи самой различной информации, как между конечными пользователями, так и между системными (служебными) устройствами. Чем больше универсальность, тем больше требований к этой системе. СПД состоит из нескольких компонентов, определяемых в зависимости от решаемых задач. Это - коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны и мосты, мультиплексоры, различные конвертеры физической среды и интерфейсов передачи данных, точки беспроводного доступа, клиентское оборудование, программное обеспечение управления оборудованием. Также практически все современные инженерные системы имеют в своем составе встроенные компоненты для организации передачи разнородных данных (служебный «горизонтальный» трафик между устройствами, данные управления между центром управления и устройствами, мультимедийный трафик), имеющих непосредственное отношение к СПД.

Крупнейшей системой (сетью) передачи данных является сеть Интернет. В настоящее время Интернет представляет собой всемирную сеть, состоящую из соединенных между собой компьютеров. Интернет позволяет любому пользователю, имеющему выход в сеть, получить доступ ко всем информационным ресурсам, хранящимся на сайтах (компьютерах-серверах) по всему миру. Сеть Интернет обеспечивает работу электронной почты, позволяющей передавать сообщения другим пользователям сети и принимать сообщения от них. Также Интернет дает возможность передавать файлы между компьютерами, а с помощью специальных программ (браузеров) искать и выводить на свой дисплей любую информацию, имеющуюся в сети Интернет. По мере увеличения разнообразия имеющейся в сети Интернет информации (совершен поразительный скачок от простых текстовых файлов к сложной графике, анимации, передаче аудио и видеосигналов) растет потребность в организации именно высокоскоростного доступа, позволяющего получать все многообразие имеющейся в сети Интернет информации [2].

Современные СПД бывают проводные и беспроводные. В проводных СПД соединение компьютеров происходит с помощью кабелей. Проводные СПД можно разделить на системы, использующие витую пару телефонных проводов, и системы, использующие оптико-волоконные кабели, - к этой категории также следует отнести системы, в которых вместе с оптико-волоконными кабелями используются также и коаксиальные кабели. Прокладка кабелей - затратный процесс, при этом они выглядят не эстетично и могут быть опасны. Использование витой пары и абонентских телефонных проводов для передачи данных в настоящее время является достаточно востребованным видом передачи данных. Витая пара (англ. *twisted pair*) - вид кабеля связи, представляет собой одну или несколько пар изолированных проводников, скрученных между собой (с небольшим числом витков на единицу длины), покрытых пластиковой оболочкой. Витая пара - один из компонентов современных структурированных кабельных систем. Используется в телекоммуникациях и в компьютерных сетях в качестве сетевого носителя, например в сети *Ethernet*. В настоящее время, благодаря своей дешевизне и легкости в монтаже, является самым распространенным решением для построения локальных сетей. Телефонные провода являются главным носителем, который в настоящее время используется для подключения всех абонентов (независимо от их юридического статуса) к оборудованию телефонной сети. Также витые пары проводов используются для соединения персональных компьютеров в ЛВС (локальных сетях). Существует три основных решения при организации доступа в сеть Интернет по витой паре. Речь идет об аналоговых модемах, предназначенном специально для передачи по телефонным каналам, о *ISDN* и о технологиях, объединенных под общим названием *xDSL*. Невысокая цена и совместимость практически с любой телефонной линией сделали аналоговые модемы основным выбором индивидуальных пользователей. Однако, скорость передачи аналогового модема в значительной мере зависит от качества телефонной линии и установленного соединения. Поэтому получить максимальную скорость передачи данных практически невозможно. Непрофессиональные пользователи сети Интернет могут использовать и аналоговые модемы, но рано или поздно любой из них сталкивается с проблемами, связанными с низким качеством соединения и перегрузками телефонной сети общего пользования. Эта сеть, в своем существующем на данный момент виде, совершенно не предназначена для того, чтобы передавать трафик сети Интернет. Более высокоскоростной альтернативой аналоговым модемам служат *ISDN*. *ISDN* - это цифровая технология, позволяющая передавать данные со скоростью 144 Кбит/с. Для этого используется схема кодирования *2B1Q*. Скорость передачи данных 144 Кбит/с складывается из двух каналов *B* по 64 Кбит/с каждый, используемых для передачи голоса и данных, и одного служебного канала *D* 16 Кбит/с для передачи управляющих сигналов. Каналы *B* могут использоваться как два отдельных голосовых канала, два канала передачи данных со скоростью 64 Кбит/с, как два отдельных канала передачи голоса и данных, а также совместно для передачи данных со скоростью 128 Кбит/с. Технологии *xDSL* позволяют значительно увеличить скорость передачи данных по медным парам телефонных проводов, при этом не требуя глобальной модернизации абонентской кабельной сети. Именно возможность преобразования существующих телефонных линий, при условии проведения определенного объема подготовительных технических мероприятий, в высокоскоростные каналы передачи данных и является основным преимуществом технологий *xDSL*. Данные технологии позволяют значительно расширить полосу пропускания медных абонентских телефонных линий. Любой абонент, пользующийся обычной телефонной связью, является потенциальным кандидатом на то, чтобы с помощью одной из технологий *xDSL* значительно увеличить скорость своего соединения с сетью Интернет. Многообразие технологий *xDSL* позволяет пользователю (с учетом определенных ограничений, связанных с длиной и качеством абонентской линии) выбрать подходящую именно ему скорость передачи данных - от 32 Кбит/с до более чем 50 Мбит/с. Современные технологии *xDSL* дают возможность организовать высокоскоростной доступ в сеть Интернет для каждого индивидуального пользователя или каждого небольшого предприятия, превращая обычные телефонные кабели в высокоскоростные цифровые каналы. *xDSL* включает в себя целый набор различных технологий, позволяющих организовать цифровую абонентскую линию, которые различаются по расстоянию, на которое передается сигнал, скорости передачи данных, а также по разнице в скоростях передачи «нисходящего» (от сети к пользователю) и «восходящего» (от пользователя в сеть) потока данных. Оптико-волоконные и волоконно-коаксиальные системы изначально создавались для кабельного телевидения и передачи видеосигнала. Благодаря тому, что эти системы по определению являются широкополосными, разрабатывалась именно такая технология, которая позволила бы использовать данное преимущество для высокоскоростной передачи данных, в основном для организации доступа в Интернет частных пользователей. Такая двунаправленная система кабельного телевидения позволяет передавать нисходящий поток передачи данных в полосе частот от 50 МГц до 750 МГц, которая поделена на каналы 6 МГц. Полоса частот, выделенная для восходящего потока данных, делится между всеми пользователями, к которым проложен коаксиальный кабель. Обычно это частотный диапазон от 5 МГц до 40 МГц. Один видеоканал, имеющий номинальную полосу частот 6 МГц, может использоваться для передачи данных из сети Интернет со скоростью до 30 Мбит/с. Общая скорость восходящего потока данных до 10 Мбит/с, но практикуемый метод коллективного использования в реальности для каждого отдельного пользователя дает гораздо меньшее значение. К сожалению, развитие оптико-волоконной техники и развертывание сетей оптико-волоконных кабелей является очень дорогим удовольствием. Особенно если сравнивать внедрение этой технологии с другими технологиями.

В беспроводных системах передачи данных подключения выполняются посредством радиоволн, по воздуху. Беспроводное соединение позволяет работать на ЭВМ в любом месте дома без использования кабелей. Преимущества беспроводных решений: - низкая стоимость развертывания; мобильность, возможность демонтировать оборудование при переезде; безопасность, возможность шифрования трафика; надежная и качественная телефонная связь; высокоскоростной доступ к сети Интернет; независимость от кабельной инфраструктуры; простота подключения и использования. Отсутствие проводов и отсутствие необходимости привязки к какому-то конкретному месту

всегда было очень важным качеством для мобильных пользователей, которым оперативный доступ к информации нужен постоянно, независимо от места их нахождения. Беспроводные сети эффективны, прежде всего, при передаче данных на расстояния до нескольких сот метров, и отличаются низкой стоимостью реализации. Ассортимент беспроводного сетевого оборудования может включать в себя беспроводные видеокамеры и прочие устройства. Развитие беспроводных систем доступа идет в трех основных направлениях. Это спутниковые системы, наземные СВЧ-системы и системы персональной сотовой связи, которые позволяют обеспечить доступ мобильных пользователей. Разумеется, каждое из этих средств имеет свои достоинства и недостатки [3]. Доступ в сеть Интернет может быть организован посредством существующей системы сотовой связи с использованием аналоговых модемов (модемов для передачи по телефонным каналам). Так как каналы сотовой связи имеют достаточно узкую полосу частот, скорость передачи данных будет невелика. Определенного увеличения скорости передачи данных можно достичь за счет использования временно свободных каналов (по которым не ведутся телефонные разговоры). Использование сотовой связи в качестве СПД для доступа в сеть Интернет очевидно и имеют определённые плюсы и минусы. Главным достоинством СПД по каналам сотовой связи заключается в мобильности и возможности выхода в сеть Интернет из любого места, а не только из квартиры или офиса, которые с помощью кабеля привязаны к провайдеру. К недостаткам можно отнести достаточно высокую стоимость услуг сотовой связи, а также не стопроцентный охват территории компаниями сотовой связи и наличие зон неуверенной связи. Ещё одним направлением развития СПД являются СВЧ-системы. По мере того, как увеличивалась потребность в расширении количества линий междугородней связи, разрабатывались системы, способные удовлетворить такие потребности. Одной из таких систем были радиорелейные линии, в которых в качестве носителя сигнала использовался не кабель, а радиоканал. Работая на сверхвысоких частотах (диапазон СВЧ) одна радиорелейная линия способна поддерживать работу тысяч телефонных каналов и нескольких телевизионных каналов одновременно. Использование данного диапазона частот приводит к необходимости размещать ретрансляторы на небольшом расстоянии друг от друга (до 30 километров) в пределах прямой видимости (сверхвысокочастотный сигнал не может завернуть за угол или перепрыгнуть даже через небольшую гору). Необходимость строить через определенное расстояние ретрансляционные вышки с антеннами делает данную технологию достаточно дорогой при организации связи на большое расстояние, но данная технология может найти свое применение, например, для организации фиксированного радиодоступа - высокоскоростной передачи данных между двумя зданиями (со скоростью от 2 Мбит/с и выше). Во многих случаях такое решение будет иметь меньшую стоимость по сравнению с прокладыванием между зданиями оптоволоконного кабеля (например, в городах, где проложить кабель не всегда просто, или в том случае, когда эти здания разделяет река) [4]. В условиях недостатка частотного ресурса были созданы, успешно применяются и развиваются беспроводные системы фиксированного доступа, работающие в инфракрасной области (на основе ИК светодиодов и полупроводниковых лазеров). Они обеспечивают рабочую дальность от 300 м до 1-3 км при скорости передачи до 155 Мбит/с. Все основные недостатки этих систем (сравнительно высокая стоимость и некоторая зависимость от погодных условий и загрязнения оптики) с лихвой окупаются отсутствием необходимости получения разрешения на использование радиочастоты, а также быстротой и простотой монтажа. На следующем этапе развития систем фиксированного радиодоступа явилось создание таких протоколов обмена информацией между приемо-передатчиками, которые позволили организовать подключение многих объектов к одному (соединение «точка-многоточка»), что наиболее соответствует задачам организации доступа в Интернет. Кроме того, были созданы различные механизмы (например, пакетная передача, работа на изменяющейся частоте), которые позволили увеличить пропускную способность, скорость передачи и эффективность использования частотного ресурса. Обеспечивая среднюю скорость передачи данных, системы данного типа позволяют организовать канал передачи на достаточно большое расстояние. В то же время подверженность внешним помехам и зависимость от географических условий (обязательная необходимость прямой видимости) делают применение таких систем не всегда целесообразным. Спутниковые СПД для организации своей работы используют спутники. Причем варианты могут быть различными - от низкоскоростных индивидуальных каналов для отдельных пользователей до высокоскоростных каналов, одновременный доступ к которым может иметь большое количество пользователей (коллективный доступ). В первом случае может применяться двунаправленный канал (но это по карману только очень богатым организациям). Во втором случае спутник служит только для передачи нисходящего потока данных, поступающих из сети Интернет к пользователю. Пользователю необходимо обязательно установить спутниковую антенну, СВЧ-ресивер и карту декодера прямо в персональный компьютер. Для организации восходящего потока данных (от пользователя в сеть Интернет) используется линия телефонной связи и модем. Спутник охватывает большую зону на поверхности Земли и является наиболее «широко охватывающей» технологией доступа в Интернет с географической точки зрения. Несмотря на широкую зону охвата, спутниковые системы имеют ряд недостатков, связанных, в частности, с необходимостью приобретения и настройки достаточно дорогостоящего оборудования. Впрочем, существует целый ряд экстремальных ситуаций, когда невозможно организовать доступ в сеть Интернет никаким другим образом, кроме как через спутник (например - корабль, находящийся посреди океана).

В итоге можно сказать, что СПД - система, предназначенная для передачи информации как внутри различных систем инфраструктуры организации, так и между ними, а также с внешними системами. СПД могут быть проводными, что означает соединение компьютеров с помощью кабелей, или беспроводными, в которых подключения выполняются посредством радиоволн, по воздуху. Развитие беспроводных систем доступа идет в трех основных направлениях – это спутниковые системы, наземные СВЧ-системы и системы персональной сотовой связи, которые позволяют обеспечить доступ мобильных пользователей. Проводные системы передачи данных можно разделить на системы, использующие витую пару и телефонные провода, и системы, использующие оптоволоконные кабели, - к этой категории также следует отнести системы, в которых вместе с оптоволоконными кабелями используются также и коаксиальные кабели. Беспроводное соединение позволяет работать на компьютерах в любом месте дома без использования кабелей. Однако за свободу и мобильность беспроводной сети приходится платить: проводные сети работают намного быстрее. Тем не менее, большинству пользователей достаточно скорости беспроводной сети.

Список литературы

1. Системы электросвязи : учебник для вузов / ред. В. П. Шувалов. Москва : Радио и связь, 1987. 508 с.
2. Таненбаум Э.С. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2003. 848 с.

3. Максим М., Полино Д. Безопасность беспроводных сетей. М.: Компания «АйТи»; ДМК Пресс, 2004. 288 с.

4. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. М.: Экотрендз, 2005. 384 с.

Самохвалов Александр Аркадьевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, samokhvalov-83@inbox.ru, Россия, Мытищи, 16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт МО РФ,

Фатьянова Елена Валентиновна, преподаватель, fatlen77@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного МО РФ

SOME EXISTING DATA TRANSMISSION SYSTEMS

A.A. Samokhvalov, E.V. Fatyanova

The article discusses some modern existing data transmission systems. An attempt is made to define a data transmission system and presumably shows promising areas of development.

Key words: information, data transmission system, data exchange, routers, multiplexers, twisted pair, Internet.

Samokhvalov Alexander Arkadievich, candidate of technical sciences, leading researcher. samokhvalov-83@inbox.ru, Russia, Mytishchi, Moscow oblast, 16 Central Research and Testing Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation,

Fatyanova Elena Valentinovna, lecturer, fatlen77@mail.ru, Russia, Saint Petersburg, Military Academy of Communications

УДК: 621.317

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-290-291

О НЕКОТОРЫХ УГРОЗАХ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

А.А. Самохвалов, Н.Н. Зайкин

В статье рассмотрены некоторые современные проблемы и угрозы безопасности программного обеспечения военной техники. Рассмотрены некоторые направления и способы их устранения.

Ключевые слова: программное обеспечение, безопасность, информационные технологии, программные закладки, надёжность.

Роль и место программного обеспечения современных компьютерных систем очень трудно переоценить. Поэтому существует огромная вероятность попыток со стороны разведок недружественных государств проникнуть в процесс создания программного обеспечения и внести в него свои коррективы.

Непрерывное совершенствование информационных технологий, повышение их роли и значимости, расширение сферы применения автоматизированных систем управления военного и специального назначения в процессе управления государством и его Вооруженными силами требуют постоянного внимания к вопросам обеспечения их информационной безопасности [1].

В [2] говорится, что в настоящее время в борьбе за сферы экономического и политического влияния в международных отношениях акцент с применения военной силы, всё больше смещается на использование более скрытных и гибких способов и форм. Одним из таких способов является контроль и управление информационными ресурсами государств. Применение информационных средств и технологий воздействия в этой связи, рассматривается как новый вид оружия, которое в определенной степени является не менее эффективным средством воздействия, чем традиционные средства поражения.

Усиленный упор на применение высоких информационных и радиоэлектронных технологий, может привести к большой зависимости хода и исхода военных действий от состояния и качества функционирования компьютерных, информационных и вычислительных сетей, систем и средств радиосвязи, радиолокации, радионавигации, которые применяются в системах разведки, управления оружием, особенно высокоточным, а также государственно-го и военного управления, в том числе военно-промышленными и энергетическими комплексами, инфраструктурой вооруженных сил и страны в целом [3].

Учитывая определённый опыт эксплуатации, можно сказать, что функциональные и надёжностные характеристики компьютерных средств определяются качеством и надёжностью программного обеспечения, входящего в их состав. Проблем качества и надёжности программного обеспечения - фундаментальная проблема его безопасности приобретает всё большую актуальность. На первый план особо выдвигается безопасность технологий создания программного обеспечения. Данный аспект проблемы безопасности программных комплексов связан с возможностью внедрения в тело программных средств на этапе их разработки (или модификации в ходе авторского сопровождения) так называемых "программных закладок". В связи с этим всё более актуальным становится проблема обеспечения технологической безопасности программного обеспечения компьютерных средств различного уровня и назначения [4].

В настоящее время в мире отмечается непрерывное повышение требований к качеству программных компонентов современных и перспективных средств вооруженной борьбы. Объясняется это бурными и взаимосвязанными процессами компьютеризации и интеллектуализации соответствующих систем поражения. Неизбежное следствие этого - резкое увеличение объемов и сложности программных средств, используемых в ЭВМ, системах оружия, автоматизированных системах боевого управления и связи, вспомогательных и обеспечивающих системах военного назначения.

Качество программного средства определяется совокупностью свойств, обуславливающих его пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением [3]. Качество программного обеспечения – это степень, в которой оно обладает требуемой комбинацией свойств [6]. Причем эти свойства проявляются на всех стадиях жизненного цикла – от технического задания до сопровождения и эксплуатации [3].

Качество информационной системы (программного обеспечения) – это способность информационной системы (программного обеспечения) удовлетворять потребностям пользователей за определенную стоимость. К таким потребностям относятся различные особенности, которые проявляются на протяжении всего жизненного цикла программного обеспечения. При этом с каждым свойством может соотноситься одна или несколько характеристик программного обеспечения, которые представляют собой проявляемые и измеряемые атрибуты свойства. Соответственно, численная оценка этих характеристик позволит определить степень наличия у программного обеспечения конкретного свойства. Количественной оценкой качества занимается квалиметрия [6].

Квалиметрия программного обеспечения – это направление науки, изучающее теоретические и практические проблемы численного измерения и оценки качества программного обеспечения [6].

Основные проблемы квалиметрии программного обеспечения:

- отсутствие общепринятой номенклатуры показателей качества;
- невозможность проведения натурных испытаний программ на всем множестве исходных данных;
- низкая достоверность и недостаточность информации для получения оценок показателей качества и недостаток средств для измерения метрик программ;
- отсутствие обоснованных требований, выраженных в числовом виде и подлежащих проверке;
- отсутствие возможности интерпретации получаемых метрик и оценок показателей качества программ.

В [5] отмечено, что при разработке образцов «умного оружия» неизбежен парадокс, заключающийся в том, что «фундаментальный источник технологического прогресса одновременно является и растущим источником технологической уязвимости». Сейчас сложилась ситуация, когда боевые возможности и устойчивость систем современного оружия определяются показателями качества и надежности программных средств. Программное обеспечение становится источником уязвимости современных оборонных систем, а использование программных средств в составе систем оружия, боевого управления и связи, порождает новую проблему - обеспечение технологической безопасности программных средств военного назначения. Возникает возможность внесения в программные средства преднамеренных дефектов, с помощью «программных закладок», которые служат для целенаправленного скрытого воздействия на техническую или информационную систему.

«Программная закладка» – это скрытно внедрённая в защитную систему программа или намеренно изменённый фрагмент программы, который позволяет злоумышленнику получить несанкционированный доступ к ресурсам системы защиты (программного обеспечения). «Программные закладки» являются логическим продолжением так называемых «электронных закладок» (скрытых технических устройств), а также результатом осмысления аналогичных возможностей использования программных средств.

«Программные закладки», могут быть достаточно эффективно применены в военных целях в качестве активного элемента информационно-кибернетического противодействия, и чем выше степень компьютеризации интеллектуализации систем военного назначения, тем больше вероятность появления «закладок». Поэтому одной из современных особенностей проектирования и разработки программного обеспечения военного назначения является необходимость обеспечения его технологической безопасности.

«Программные закладки» могут быть внесены либо случайно, либо преднамеренно. Современная «программная закладка» может быть реализована в виде нескольких команд и иметь достаточно сложный и «тонкий» механизм активации, «настроенный» на условия реального боевого применения системы оружия либо на строго определенную комбинацию входных данных. «Закладка» может быть включена в состав как общего программного обеспечения вычислительной установки, так и специальных (прикладных) программных средств, реализующих алгоритм преобразования информации.

«Программные закладки» могут быть как автоматические, так и управляемые. Автоматические, как правило, имеют механизм срабатывания, заранее настроенный на условия реального боевого применения систем оружия либо боевого управления, а управляемые, имеют механизм их активации, контролируемый извне.

Выявить наличие «программной закладки» в программном обеспечении большого объема и сложности очень трудно, так как она может быть замаскирована под реально существующий алгоритм или его часть. Причём осложняется это полным незнанием условий и момента срабатывания «программной закладки», а также отсутствием прямых и косвенных признаков её наличия в составе программного обеспечения [5].

Результатом активации «программных закладок» может быть полное или частичное нарушение работоспособности системы, несанкционированный доступ к защищенной конфиденциальной информации, потеря или искажение информации в специальных банках данных и т.д. Наибольшую опасность они представляют для систем оружия одноразового боевого применения, например ракетных комплексов стратегического назначения, а также для систем боевого управления, имеющих логическое разделение каналов боевого и дежурного режимов. Анализируя вероятные последствия применения «программных закладок», можно сказать, что одним из последствий может быть блокирование возможности боевого применения системы оружия определенного класса или информационной системы военного назначения. Это означает, что, обладая мощным оружием для сдерживания потенциального противника, можно фактически оказаться безоружным. Например: - В иностранной прессе в качестве иллюстрации такой ситуации приводится военный конфликт в Персидском заливе, когда при проведении многонациональными силами операции «Буря в пустыне» система ПВО Ирака оказалась заблокированной по неизвестной причине. В результате иракская сторона была вынуждена оставить без ответа бомбовые удары по своей территории. Многие иностранные специалисты высказывают предположение, что ЭВМ, входящие в состав комплекса технических средств системы

ПВО, закупленные Ираком у Франции, содержали специальные управляемые «электронные закладки», блокировавшие работу вычислительной системы. Это означает, что начался этап, когда при ведении боевых действий стало практически возможным применять новое электронно-информационное оружие [5]. Так 8 октября 2012 года РИА Новости со ссылкой на Ассошиэйтед Пресс сообщило, что комитет по разведке при Палате представителей США рекомендует частным американским компаниям воздержаться от любых деловых контактов с *Huawei* и *ZTE*, а властям США - отказаться от использования продукции этих производителей. Недавно агентство *Bloomberg* сообщило о намерении властей США проверить деятельность *Huawei* и *ZTE* на наличие в продукции, поставляемой ими на территорию Соединенных Штатов, инструментов для шпионажа в пользу Китая.

В [5] так же говорится, что поражение программного обеспечения в современной обстановке зависит от следующих факторов:

- сокращение систем вооружения, требующее обеспечения боевой устойчивости оставшегося вооружения;
 - унификация систем управления оружием, приводящая, в частности, к возможности поражения всей группировки однотипных ракетных комплексов одним преднамеренным диверсионным программным дефектом или воздействием;
 - массовый импорт вычислительных средств, сетевых структур, информационных технологий и программных средств, несовершенство системы закупки;
 - отсутствие юридических норм, регламентирующих особенности разработки компьютеризированных и интеллектуализированных высокоточных систем оружия, боевых и обеспечивающих систем военного назначения;
 - увеличение числа возможных обладателей информационным оружием (включая террористические группы);
 - слабое развитие научно-теоретической базы по проблеме безопасности программного обеспечения систем критического применения;
 - создание глобальных сетевых структур или подключение к ним создаваемых и эксплуатируемых систем вооружения.
- источники внешних угроз [1]:
- а) - деятельность международных террористических организаций;
 - б) - деятельность космических, воздушных, морских и наземных технических и иных средств разведки иностранных государств;
 - в) - деятельность иностранных политических, экономических, военных, разведывательных и информационных структур, направленная против интересов страны в информационной сфере.

И так можно сделать некоторые выводы: - сложность разработки современного программного обеспечения военного назначения заключается в том, что в принципе не существует технологий создания программной продукции без единого дефекта. Поэтому ни одна организация-разработчик не гарантирует абсолютной надежности продукта, снимая с себя ответственность за последствия, к которым могут привести дефекты в программах.

В настоящее время для выявления «программных закладок» и «программных дефектов» могут быть предложены только дорогостоящие методы контроля исходных текстов программ в сочетании с методами математического моделирования процессов функционирования систем вооружений в реальных условиях боевого применения.

Список литературы

1. Краснов С.Г. Анализ современных угроз безопасности информации в АСУ военного назначения. // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». № 4 (8), 2020. С. 85-96.
2. Чулков Д.Н. Модель угроз информационно-технических воздействий на информационные объекты – как основа создания комплексной системы обеспечения безопасности / Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Труды научно-практической конференции. Военная академия связи. 2016. С. 82-86.
3. Дворников В.А., Королев И.И., Павлов В.Н. О тактике войск радиоэлектронной борьбы. Военная мысль. №3, 2015. С. 59-64.
4. Казарин О.В. «Безопасность программного обеспечения компьютерных систем». Издано: Москва, МГУЛ, 2003, 212 с.
5. Ефимов А., Кузнецов П., Лукашкин А. Проблемы безопасности программного обеспечения военной техники и других критических систем. //Конфидент. №2, 1994. С. 20-28.
6. Коцюба И.Ю., Чунаев А.В., Шиков А.Н. Методы оценки и измерения характеристик информационных систем. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015, 264 с.

Самохвалов Александр Аркадьевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, samokhvalov-83@inbox.ru, Россия, Мытищи, Московская область, 16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт МО РФ,

Зайкин Николай Николаевич, преподаватель, zaykin53@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная орден Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного МО РФ

ABOUT SOME THREATS TO THE SECURITY OF MILITARY HARDWARE SOFTWARE

A.A. Samokhvalov, N.N. Zaikin

The article discusses some current problems and threats to the security of military hardware software. Some directions and ways of their elimination are considered.

Key words: software, security, information technology, software bookmarks, reliability.

Samokhvalov Alexander Arkadievich, candidate of technical sciences, leading researcher. samokhvalov-83@inbox.ru, Russia, Mytishchi, Moscow oblast, 16 Central Research and Testing Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation,

Zaikin Nikolay Nikolaevich, lecturer, zaykin53@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.73.01

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-294-295

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДАВЛИВАНИЯ

А.И. Гасанов

В статье подробно рассматривается влияние изменения высоты пояска рабочего инструмента на различные параметры процесса штамповки алюминиевого полуфабриката при использовании операции обратного выдавливания. Были осуществлены компьютерные моделирования, которые проводились с разными конфигурациями инструмента, отличающимися по высоте рабочей кромки пуансона. Результаты показали, что увеличение высоты пояска требует применения большей технологической силы. Это указывает на важность выбора правильной конфигурации инструмента для оптимального процесса штамповки. Кроме того, исследование выявило, что с увеличением высоты пояска происходит увеличение растягивающих напряжений в материале. Также наблюдается изменение интенсивности деформаций и характера напряжений в материале. Общий вывод статьи заключается в том, что изменение высоты пояска имеет значительное влияние на параметры процесса штамповки металлов. Понимание этих взаимосвязей является ключевым для эффективной оптимизации процесса и обеспечения высокого качества изготавливаемых деталей. Дальнейшие исследования в этом направлении могут способствовать развитию более точных и надежных методов штамповки этих изделий.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, обработка металлов давлением, обратное выдавливание, пластическое формоизменение, технологическая сила.

Штамповка металлов – это процесс пластического деформирования листового или объемного материала путем его деформации, как правило, с использованием специализированного оборудования – штампов, однако могут применяться и иные методы штамповки без применения классических штампов [1-4]. Целью может быть получение изделий заданных размеров и форм, улучшение механических свойств материала и пр. Такие процессы зачастую прогнозируются с использованием компьютерного моделирования [5-6]. Компьютерное моделирование представляет собой процесс, в рамках которого с использованием специализированного программного обеспечения осуществляется проектирование и оптимизация процесса штамповки деталей из металла [7-10]. Этот метод позволяет моделировать работу оборудования и инструмента для штамповки, а также поведение металла в процессе обработки, с целью предотвращения дефектов изделия, снижения издержек и увеличения производительности. В данной работе рассматривается процесс обратного выдавливания, который был смоделирован в программе QForm при разных конфигурациях инструмента, которые отличаются по высоте рабочей кромки пуансона.



Рис. 1. Изделие после операции выдавливания

В результате моделирования были получены основные параметры процессов (рис. 2). Данная диаграмма и таблица содержит информацию об изменениях различных параметров процесса штамповки в зависимости от высоты пояска.

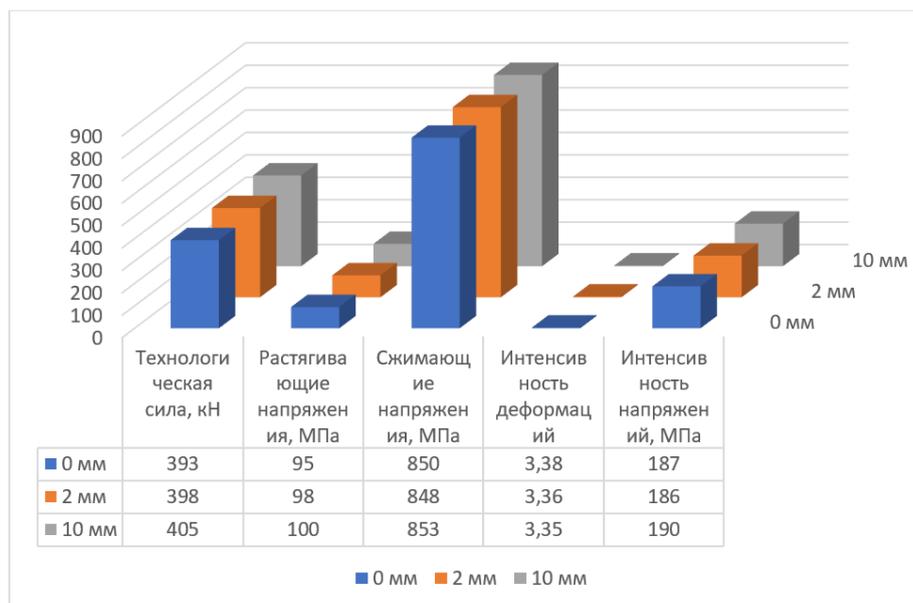


Рис. 2. Диаграмма

Высота пояска означает изменения в конфигурации штампованной оснастки, где высота пояска увеличивается с 0 до 10 мм. Это изменение приводит к небольшим, но заметным переменам в других параметрах, представленных на диаграмме. Также установлено, что значения технологической силы увеличиваются с увеличением высоты пояска, что указывает на то, что при использовании более высоких поясков требуется большее усилие. Наблюдается увеличение растягивающих напряжений с ростом высоты пояска. Сжимающие напряжения изменяются незначительно, но в целом показывают тенденцию к росту при увеличении высоты пояска. Это указывает на то, что процесс штамповки влечет за собой изменения в распределении напряжений в пределах обрабатываемого материала. С увеличением высоты пояска наблюдается незначительное снижение интенсивности деформаций. Интенсивность напряжений показывает сначала незначительное снижение, а затем повышение при увеличении высоты пояска до 10 мм. Это может быть связано с нелинейной реакцией материала на изменение условий деформации.

Однозначно можно заметить, что изменение высоты пояска влияет на все параметры процесса штамповки, что подчеркивает важность тщательного проектирования и оптимизации процесса для достижения желаемых характеристик и качества изготавливаемых деталей. Увеличение высоты пояска требует применения большей технологической силы и влияет на интенсивность и характер напряжений в материале, что должно быть учтено при проектировании штампов и выборе параметров процесса.

Список литературы

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1986. Т.2. Горячая штамповка / Под ред. Е.И. Семенова, 1986. 592 с.
2. Яковлев С. С. Ковка и штамповка. В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / Под общ. ред. С. С. Яковлева; ред. совет : Е. И. Семенов (пред.) и др. М.: Машиностроение, 2010. 732 с.
3. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением : учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
4. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977. 278 с.
5. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе QFORM V8: методические указания / составители: В.Р. Каргин, А.В. Казаков. Самара: Издательство Самарского университета, 2021. 56 с.
6. Аникеева Ю. С. Анализ напряжений и деформаций при получении цилиндрических деталей с фланцевой частью // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 5. С. 410-412. EDN ECGOFN.
7. Ташматова Ш. С., Ганиева Т. И., Курбонова К. Э. Компьютерное моделирование и автоматизация технологических процессов производства в машиностроении // Теория и практика современной науки. 2020. № 3(57). С. 296-300. EDN IHPAPY.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022663472 Российская Федерация. Программа для расчета технологической силы гибки : № 2022617764 : заявл. 27.04.2022 : опубл. 14.07.2022 / С. С. Яковлев, Л. В. Каркач, А. И. Гасанов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет». EDN KRMMNP.
9. Левачева Д. А. Исследование ротационной вытяжки тонкостенных конических деталей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 8. С. 78-84. EDN NQUTSU.
10. Романов П. В., Ремнев К. С. Оценка характера течения металла при высадке титановых прутковых заготовок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 3. С. 120-124. EDN YZHSEK.

Гасанов Аббас Иса оглы, магистрант, mpf-tula@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет.

Научный руководитель: Пасынков Андрей Александрович, канд. техн. наук., доцент, Россия, Тула, Тульский государственный университет.

COMPUTER SIMULATION OF THE EXTRUSION PROCESS

A.I. Gasanov

The article examines in detail the effect of changing the height of the working tool belt on various parameters of the stamping process of an aluminum semi-finished product when using the reverse extrusion operation. Computer simulations were carried out, which were carried out with different tool configurations, differing in the height of the working edge of the punch. The results showed that increasing the height of the belt requires the use of greater technological force. This highlights the importance of selecting the correct tool configuration for an optimal stamping process. In addition, the study revealed that as the height of the girdle increases, the tensile stresses in the material increase. There is also a change in the intensity of deformations and the nature of stresses in the material. The general conclusion of the article is that changing the height of the flange has a significant impact on the parameters of the metal stamping process. Understanding these relationships is key to effectively optimizing the process and ensuring high quality parts produced. Further research in this direction may contribute to the development of more accurate and reliable methods for stamping these products.

Key words: computer modeling, metal forming, reverse extrusion, plastic forming, technological force.

Gasanov Abbas Isa ogly, student, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University.

Scientific advisor: Pasyнков Andrej Aleksandrovich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula State University.

УДК 621.73.01

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-296-297

АНАЛИЗ СЛОЖНОГО КОМБИНИРОВАННОГО ПРОЦЕССА КОМПЬЮТЕРНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Ю.С. Галкин

В данной статье рассматривается роль компьютерного моделирования в процессе штамповки листовых металлов, акцентируя внимание на важность учета коэффициента трения между заготовкой и инструментами. Автор подчеркивает, что выбор коэффициента трения позволяет минимизировать износ оборудования, увеличить срок его службы и сократить производственные расходы, а также улучшить свойства готовой детали. С использованием программного обеспечения для моделирования, такого как QForm проведены компьютерные моделирования процесса комбинированной вытяжки-отбортовки, показывающие, как различные коэффициенты трения влияют на результат пластического формоизменения металла. В работе представлены результаты четырех моделирований с разным коэффициентом трения, определены средние напряжения и интенсивности деформаций. Сделаны выводы о влиянии коэффициента трения на исследуемые параметры и приведены их распределения. Показано, что, хотя коэффициент трения практически не влияет на характер изменения средних напряжений, этот параметр процесса значительно влияет на интенсивность деформаций.

Ключевые слова: напряженное состояние, компьютерное моделирование, средние напряжения, обработка металлов давлением, интенсивность деформаций, вытяжка-отбортовка.

Компьютерное моделирование играет важную роль в современном мире проектирования и производства, позволяя значительно сократить время и затраты на разработку новой продукции, отладку технологических процессов и пр. Одним из примеров применения компьютерного моделирования является процесс штамповки листовых металлов [1]. Этот процесс подразумевает деформацию листа из цветных или черных металлов для придания ему необходимой формы, при этом необходим учет коэффициента трения между заготовкой и инструментами, поскольку он влияет как на качество конечного продукта, так и на износ оборудования, и на другие параметры процессов. Коэффициент трения напрямую влияет не только на качество поверхности, но и на возникающие в процессе штамповки напряжения и деформации, а также на усилия формообразования, повреждаемость и пр. Подбор оптимального параметра трения позволяет минимизировать износ оборудования, увеличить срок его службы и, как следствие, сократить производственные расходы, однако помимо этого и улучшить свойства детали [2-3].

Стоит отметить, что чем больше площадь контакта заготовки со штамповой оснасткой, тем выше влияние коэффициента трения на весь технологический процесс. Особенно важно его исследовать при реализации сложных методов формоизменения, включая комбинацию вытяжки и отбортовки. Так как этот процесс является сложным по характеру изменения формы и течения материала, то в данном случае необходимо проведение компьютерных моделирований.

Такие моделирования позволяют точно предсказать результат пластического формоизменения металла с учетом различных коэффициентов трения. С помощью программного обеспечения для моделирования, такого как

ANSYS [4], ABAQUS [5], Comsol [6], QForm [7], DeForm [8] и других, имеется возможность создавать комплексные модели и изучать различные факторы и параметры процессов. Это дает возможность оптимизировать параметры процесса, подобрать наиболее подходящие материалы для инструментов и штампуемого изделия, а также точно рассчитать необходимые усилия и предвидеть возможные дефекты [9].

В данной работе проводится оценка средних напряжений, деформаций при получении изделия, представленного на рисунке 1.



Рис. 1. Трехмерная модель изделия

Для оценки напряжений и деформаций были проведены 4 компьютерных моделирования с разным коэффициентом трения (по Кулону: 0, 0,2, 0,3 и 0,5), но одинаковыми остальными параметрами (материал, температура, конфигурация и размеры инструмента и пр.), и были определены средние напряжения и интенсивности деформаций (рис. 2).

При анализе средних напряжений установлено, что на конечной стадии формоизменения имеются как сжимающие, так и растягивающие напряжения. Во внешней формируемой стенке в основном присутствуют сжимающие напряжения в очаге деформирования, в остальной же части детали наблюдаются растягивающие напряжения. При этом напряжения лежат в диапазоне от -90 до +100 МПа для всех рассматриваемых случаев трения Кулона.

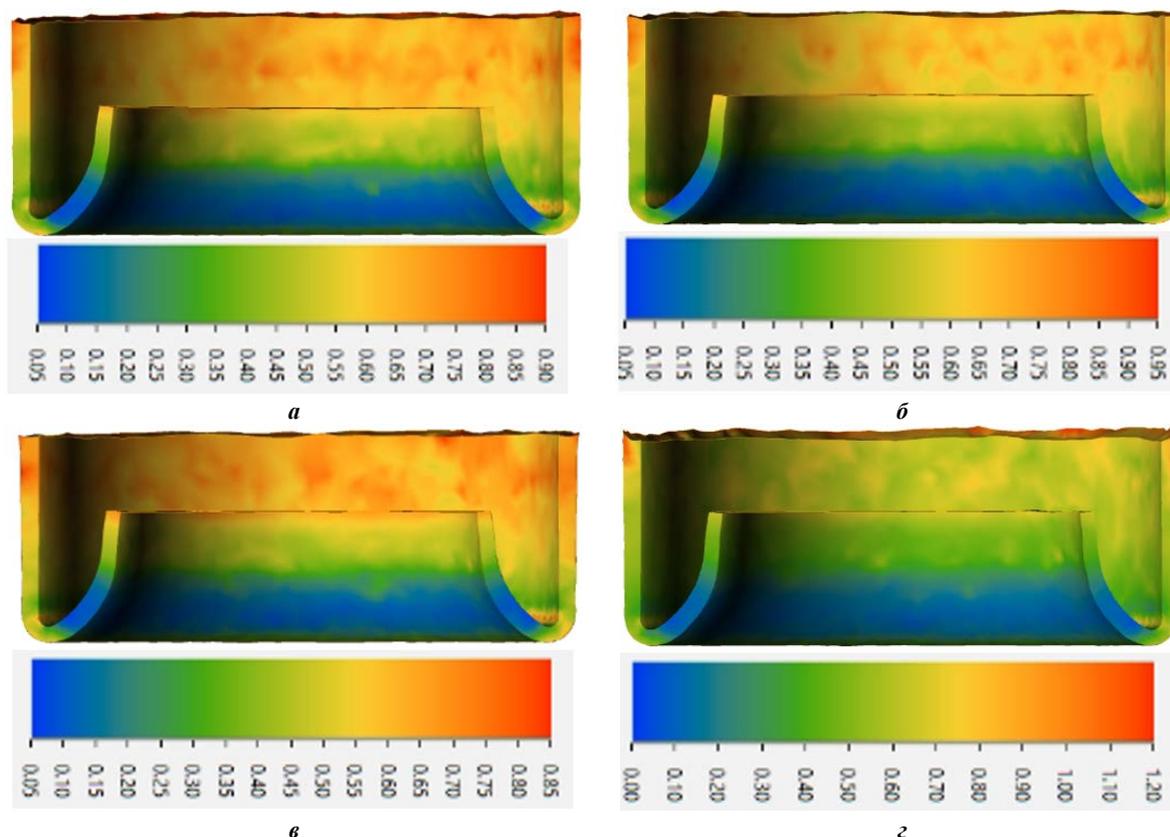


Рис. 2. Интенсивности деформаций

Установлено, что с увеличением трения возрастает максимальная величина деформаций, так при нулевом трении исследуемая характеристика составляет 0,8, а при коэффициенте трения 0,5 – 1,2, так выявлен рост в полтора раза. Однако характер распределения величины одинаков для всех исследуемых вариантов.

Таким образом с помощью компьютерного моделирования операции комбинированной вытяжки-отбортовки установлено, что на величину, на характер изменения и на диапазон средних напряжений коэффициент трения практически не оказывает влияния. При этом на величину интенсивности деформаций этот фактор оказывает следующее влияние, выявлено, что с увеличением трения повышается интенсивность деформаций.

Список литературы

1. Грибачев Я. В. Оценка качества изделия при комбинированном выдавливании латунной заготовки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 10. С. 361-364. EDN WAGNLS.
2. Яковлев С. С. Ковка и штамповка. В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / Под общ. ред. С. С. Яковлева; ред. совет : Е. И. Семенов (пред.) и др. Москва : Машиностроение, 2010. 732 с.
3. Семёнов Е. И. Технология и оборудование ковки и объемной штамповки / Е. И. Семёнов, В. Г. Кондратенко, Н. И. Ляпунов. М.: Машиностроение, 1978. 311 с.
4. Анализ напряженно-деформированного состояния штамповой оснастки при обжиме шаровых пробок / Н. Р. Туркина, А. А. Рак, Д. А. Кацуба, Г. О. Нагаев // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2023. № 2. С. 37-41. EDN CSJNRB.
5. Петров М. А., Матвеев А. Г., Петров П. А. Моделирование процесса штамповки с кручением в программе ABAQUS // Технология легких сплавов. 2022. № 1. С. 45-53. EDN CUGXXH.
6. Subramaniam S., Muthusamy S., Bharatan S. K. Simulation of Molybdenum Disulfide based MOSFET Device using COMSOL Multiphysics software // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2312, No. 1. P. 012057. EDN NJLBOW.
7. Кухарь В. Д., Яковлев С. С. Изготовление оболочек с ребрами методом пластического формоизменения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 9. С. 637-639. EDN OYDPCI.
8. Wang Q., Gao J., Niu W. Simulation of deform behavior of WE43 magnesium alloy based on DEFORM-3D // Materials Science Forum. 2009. Vol. 618 619. P. 191-194. EDN NCAFYP.
9. Коротков В. А., Романов П. В., Платонов В. И. Определение режима изотермической штамповки на основе технологических испытаний образцов из труднодеформируемых материалов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 1. С. 202-209. EDN YVPRVD.

Галкин Юрий Сергеевич, аспирант, dock13@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет.

ANALYSIS OF A COMPLEX COMBINED PROCESS USING COMPUTER SIMULATION

Y.S. Galkin

This article examines the role of computer simulation in the sheet metal forming process, emphasizing the importance of considering the coefficient of friction between the workpiece and the tools. The author emphasizes that choosing the friction coefficient allows you to minimize equipment wear, increase its service life and reduce production costs, as well as improve the properties of the finished part. Using simulation software such as QForm, computer simulations of the combined drawing-flanging process were carried out, showing how different friction coefficients affect the result of plastic forming of metal. The paper presents the results of four simulations with different friction coefficients, and determines the average stresses and strain intensities. Conclusions are drawn about the influence of the friction coefficient on the parameters under study and their distributions are given. It is shown that although the friction coefficient has virtually no effect on the nature of the change in average stresses, this process parameter significantly affects the intensity of deformations.

Key words: stress state, computer modeling, medium stresses, metal forming, strain intensity, stretching-flanging.

Galkin Yuri Sergeevich, graduate student, dock13@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University.

ПОСТРОЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ЛОКАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РИФЛЕЙ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОБОЛОЧЕК

С.С. Яковлев, В.Д. Кухарь, А.Е. Лазаренко

В статье представлены результаты исследования силовых и деформационных параметров процесса локального формирования рифлей на внутренней поверхности оболочек в зависимости от геометрических размеров инструмента и глубины формируемых рифлей.

Ключевые слова: метод конечных элементов, рифление, оболочка, съем, теория планирования многофакторного эксперимента.

Ранее в работах [1, 2] исследовался процесс нанесения рифлей на внутренней поверхности цилиндрической оболочки (заготовки) с помощью локального пластического деформирования инструментом ограниченной длины (рис. 1).

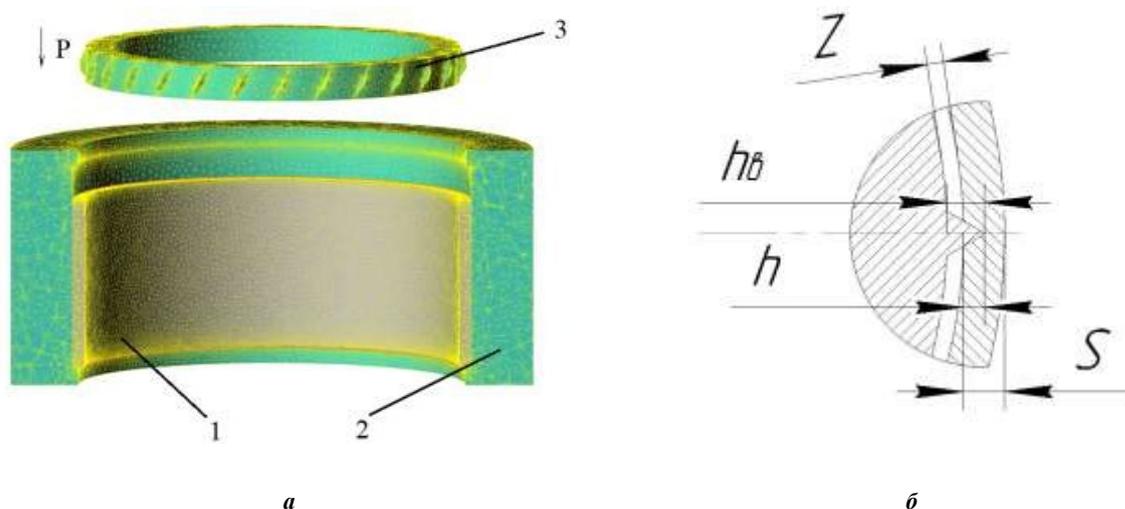


Рис. 1. Трехмерная модель оснастки (а) с разбиением на конечные элементы для изготовления рифлей на внутренней поверхности металлической оболочки: 1 – заготовка, 2 – контейнер, 3 – рабочая оправка; зазор между заготовкой и инструментом (б)

Для проектирования технологического процесса получения изделия данного типа необходимо знать простейшие регрессионные зависимости, приближенно отражающие силовые и деформационные параметры процесса.

С этой целью рационально использовать аппарат математической статистики и теории планирования многофакторного эксперимента применительно к результатам численных исследований процесса при различных сочетаниях геометрических размеров инструмента и глубины получаемых рифлей.

При моделировании процесса использовалась заготовка из стали 10, внутренним диаметром 110,7 мм, высотой 60 мм, толщиной стенки 3,55 мм. Число выступов на инструменте 28, с углом подъема 30 градусов и углом при вершине 60 градусов, конфигурация которых представлена на рис. 2.

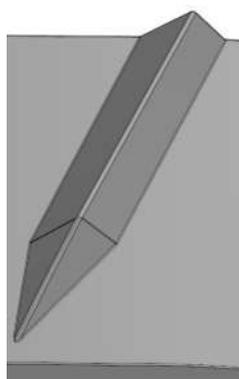


Рис. 2. Форма рабочей оправки

Внедрение выступов рабочей оправки в заготовку составляло 1 мм, 1,3 мм, 1,6 мм при обеспечении зазора между оправкой и заготовкой 0,15 мм, 0,3 мм, 0,45 мм.

Таким образом в качестве основных факторов, определяющих процесс формирования сетки рифлей на внутренней поверхности оболочек, были выбраны следующие параметры: зазор между внутренней поверхностью заготовки и основной поверхностью рабочей оправки – Z ; глубина внедрения выступов рабочей оправки – h .

В качестве выходных параметров (функции отклика), характеризующих данный процесс, были приняты:

- максимальная технологическая сила рифлений – P ;

- максимальная технологическая сила съема – P_{max} ;

- интенсивность деформаций – ϵ_i .

Для описания вышеперечисленных зависимостей использовалась полиномиальная модель второго порядка (1):

$$y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (1)$$

где y_1 – значение выходного параметра (функции отклика); b_0, b_i, b_{ii} – коэффициенты регрессии; x_i, x_j – кодированные значения входных факторов.

В таблице 1 приведены уровни и интервалы варьирования основных факторов.

Таблица 1

Уровни факторов и интервалы их варьирования

Наименование фактора	Натуральное значение фактора: Z	Кодированное значение фактора: x_1	Натуральное значение фактора: h	Кодированное значение фактора: x_2
Область эксперимента				
Основной уровень	0,3	0	1,3	0
Интервал варьирования	0,15	1	0,3	1
Нижний уровень	0,15	-1	1	-1
Верхний уровень	0,45	+1	1,6	+1

В качестве плана эксперимента был использован двухфакторный план [3], матрица которого приведена в табл. 2.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	$Z (X_1)$	$h (X_2)$
1	+1	+1
2	-1	+1
3	+1	-1
4	-1	-1
5	+1	0
6	-1	0
7	0	+1
8	0	-1
9	0	0

Необходимые расчеты по определению коэффициентов регрессии были выполнены по программе *R_2_b.exe*, разработанной на кафедре МПФ (в настоящее время кафедра МиППФ) ТулГУ.

Были получены уравнения регрессии, устанавливающие зависимости максимальной технологической силы рифления (P), максимальной технологической силы съема (P_{max}), интенсивности деформаций (ϵ_i) от зазора между внутренней поверхностью заготовки и основной поверхностью рабочей оправки (Z) и глубины внедрения выступов рабочей оправки (h), которые имеют вид:

- максимальная технологическая сила рифлений

$$y_1 = 81,686 - 26,675x_1 + 48,028x_2 - 17,43x_1x_2 + 17,372x_1^2 + 2,7117x_2^2;$$

- максимальная технологическая сила съема

$$y_2 = 33,102 - 14,233x_1 + 16,31x_2 - 7,35x_1x_2 + 8,0967x_1^2 - 1,7733x_2^2;$$

- интенсивность деформаций

$$y_3 = 2,7633 - 0,13667x_1 + 0,66167x_2 - 0,13x_1x_2 + 0,06x_1^2 + 0,035x_2^2.$$

С помощью полученных уравнений регрессии были построены поверхности отклика и их сечения, отражающие зависимость максимальной технологической силы рифления (рис. 3), максимальной технологической силы съема (рис. 4) и интенсивности деформаций (рис. 5) от зазора между внутренней поверхностью заготовки и основной поверхностью рабочей оправки и глубины внедрения выступов рабочей оправки.

Анализ полученных результатов (рис. 3-5) показал, что максимальная сила процесса (рис. 3) реализуется в диапазоне от 40 кН до 180 кН. Наибольшее влияние на силу процесса оказывает глубина внедрения. При этом изменение ее от 1 мм до 1,6 мм сила процесса увеличивается практически в 3 раза. Влияние же зазора при малых глубинах внедрения на усилие процесса не значительно, а при наибольшей глубине внедрения увеличения зазора от 0,15 мм до 0,45 мм снижает усилие процесса практически в 2 раза.

Анализ рис. 4 показал, что на усилие съёма практически в равной степени влияет как глубина внедрения, так и зазор. Так с увеличением глубины внедрения от 1 мм до 1.6 мм усилие съёма возрастает в 2 раза, а при увеличении зазора от 0,15 мм до 0,45 мм оно уменьшается практически также в 2 раза.

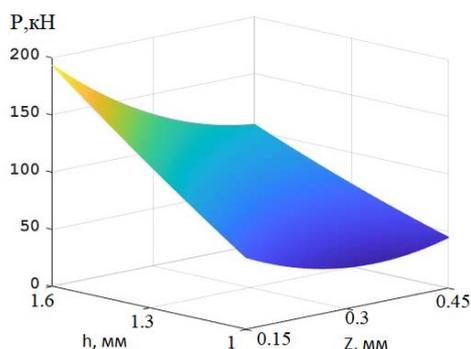


Рис. 3. Зависимость максимальной технологической силы рифления (P) от величин (Z, h)

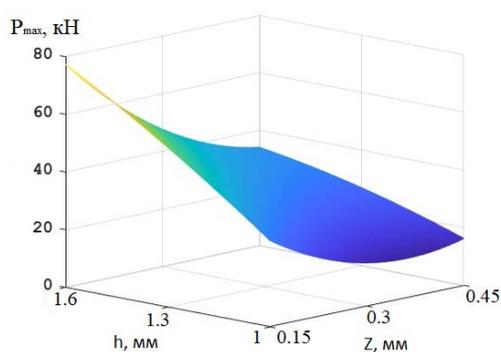
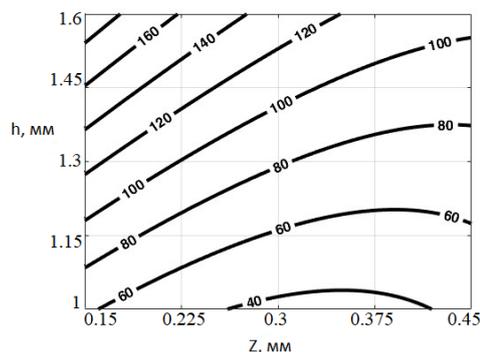


Рис. 4. Зависимость максимальной технологической силы съёма (P_{max}) от величин (Z, h)

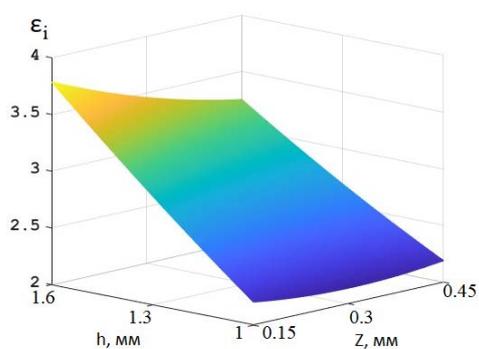
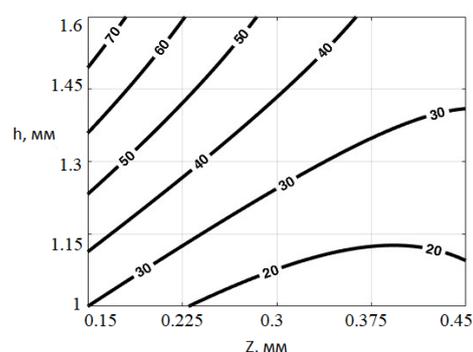
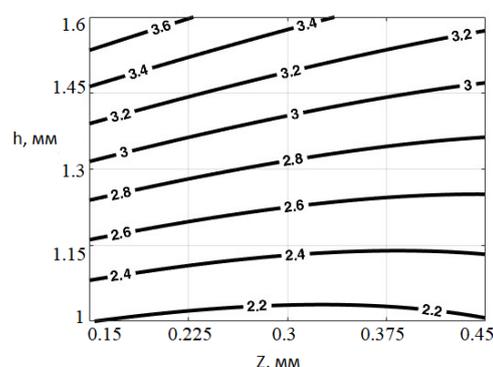


Рис. 5. Зависимость величины интенсивности деформаций (ϵ_i) от величин (Z, h)



Анализ рис. 5 показал, что максимальная интенсивность деформации в вершине рифля изменяется от 220% до 360% в основном за счет увеличения глубины внедрения, а зазор между оправкой и заготовкой практически не влияет на этот параметр.

Работа выполнена в рамках гранта Правительства Тульской области в сфере науки и техники № ДС/132.

Список литературы

1. Кухарь В.Д., Яковлев С.С. Сравнение пластического формоизменения разными рабочими оправками при нанесении рифлей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 12. С. 133-136. EDN JNEFPB.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688844 Российская Федерация. Программа для расчета силы рифления и отхода материала : № 2023687799 : заявл. 11.12.2023 : опубли. 25.12.2023 / С. С. Яковлев, А. А. Шишкина, Г. А. Вобликов, Е. М. Чунаева. EDN WWQTBX.
3. Арсов Я.Б., Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с.

Яковлев Сергей Сергеевич, ассистент, yakovlev-ss-science@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет.

Кухарь Владимир Денисович, д-р техн. наук., профессор, mpf-tula@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Киреева Алена Евгеньевна, канд. техн. наук., доц., kirealena@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

EVALUATION OF POWER MODES AND FIELDS OF DEFECTS IN THE GRIPING OF ALUMINUM AND STEEL SHELLS

S.S. Yakovlev, V.D. Kukhar, A.E. Lazarenko

The article presents the results of a study of the force and deformation parameters of the process of local formation of grooves on the inner surface of the shells, depending on the geometric dimensions of the tool and the depth of the formed grooves.

Key words: finite element method, corrugation, shell, removal, theory of multifactor experiment planning.

Yakovlev Sergey Sergeevich, assistant, yakovlev-ss-science@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Kukhar Vladimir Denisovich, doctor of technical sciences, professor, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Kireeva Alena Evgenievna, candidate of technical sciences, docent, kirealena@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.73.01

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-302-303

ОТБОРТОВКА КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА

Д.И. Кондаков

В данной статье рассматривается значимость компьютерного моделирования и определения напряженного и деформированного состояния в процессах штамповки металлических изделий. Обращается внимание на необходимость учета сложных геометрических форм деталей, характеристик материала и условий воздействия нагрузок для оптимизации процесса и предотвращения возможных дефектов. Использование метода конечных элементов позволяет исследовать различные параметры штамповки, такие как коэффициент трения и конфигурация рабочего инструмента, что в свою очередь позволяет улучшить качество изделий и снизить количество брака. Исследование проводилось при разных коэффициентах трения и конфигурациях рабочего инструмента. Проведенный анализ показал, что повышение коэффициента трения и высоты рабочей кромки сопровождается увеличением интенсивности напряжений и деформаций. Результаты исследования подтверждают, что компьютерное моделирование является эффективным инструментом для совершенствования производственных процессов в машиностроении и металлообработке.

Ключевые слова: интенсивность деформаций, интенсивность напряжений, компьютерное моделирование, обработка металлов давлением, штамповка, параметры детали, коэффициент трения.

В наше время компьютерные технологии играют все более значимую роль в различных отраслях промышленности, включая машиностроение и металлообработку. Одним из ключевых процессов в производстве металлических изделий является штамповка, которая, в частности, позволяет формировать детали из листового металла путем приложения давления [1-3]. Однако при проведении процесса штамповки необходимо учитывать не только форму детали, усилие штамповки, но и напряженное и деформированное состояние материала [4-8]. Для того чтобы оптимизировать этот процесс и предотвратить вероятные дефекты, важно проводить компьютерное моделирование напряженного и деформированного состояния штамповки, а также других характеристик детали [9].

Компьютерное моделирование позволяет анализировать поведение материала при воздействии нагрузок, оптимизировать параметры процесса штамповки, предсказать возможные дефекты, а также сэкономить время и ресурсы на проведение многочисленных экспериментов в реальных условиях.

Для проведения компьютерного моделирования напряженного и деформированного состояния необходимо использовать специализированные программные средства, такие как различные CAD/CAM системы и программы для расчета конечных элементов. С их помощью можно создавать 3D модели заготовок, определять параметры материала, задавать условия давления и температуры, а затем анализировать результаты моделирования. Важно отметить, что компьютерное моделирование позволяет не только предсказывать напряженное и деформированное состо-

яние, но и оптимизировать процесс, улучшить качество изделия, снизить количество брака и повысить производительность. Для более точной оценки напряженного и деформированного состояния при штамповке применяется компьютерное моделирование с использованием метода конечных элементов. Этот подход позволяет учитывать сложные геометрические формы деталей, неоднородности материала, а также симулировать воздействия различных нагрузок на материал. В данной же работе был проведен анализ напряженного и деформированного состояния при отбортовке (рис. 1. и 2), которые были получены с помощью компьютерного моделирования процесса формоизменения стального изделия в программе QForm.

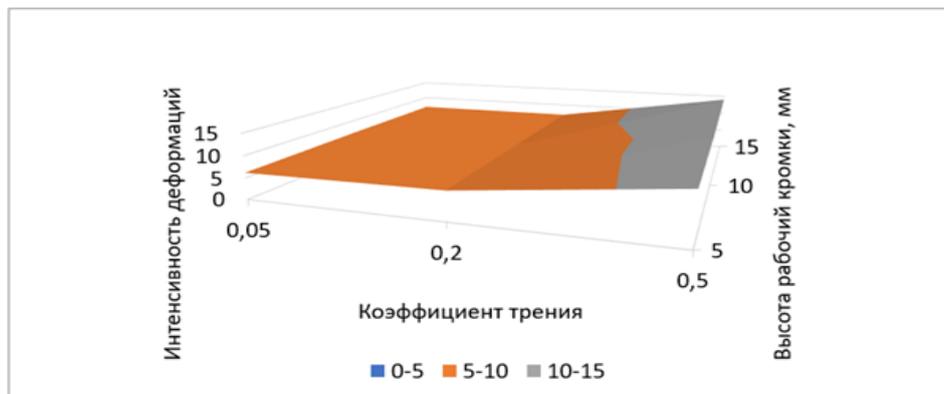


Рис. 1. Интенсивность деформаций

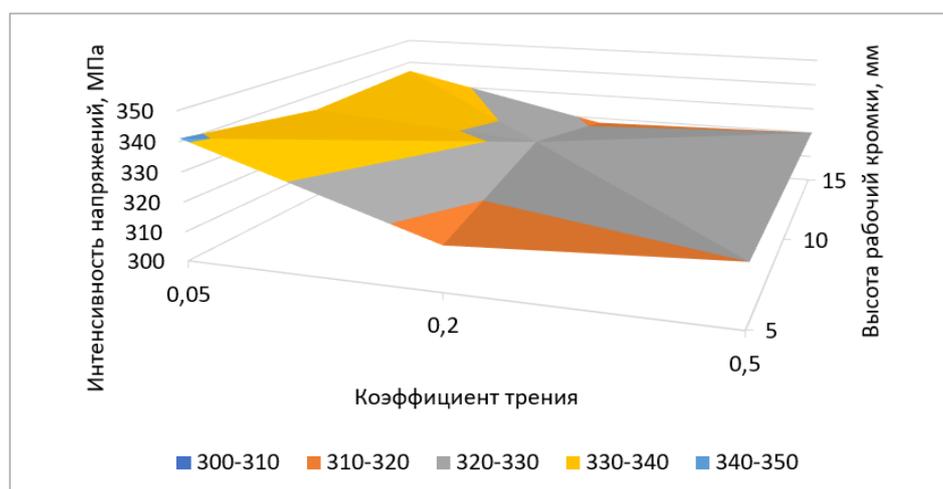


Рис. 2. Интенсивность деформаций

Исследование было выполнено при разных коэффициентах трения и конфигурациях рабочего инструмента? Однако материал и остальные факторы были одинаковыми. Анализ напряжений и деформаций однозначно показал, что увеличение коэффициента трения, и высоты рабочей кромки позволяет определить, что с увеличением этих параметров увеличивается и интенсивность напряжений, и интенсивность деформаций. Таким образом, использование методов компьютерного моделирования для определения напряженного и деформированного состояния материала является эффективным инструментом для совершенствования производственных процессов и повышения качества металлических изделий.

Список литературы

1. Никифоров А.Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. / А.Д. Никифоров. М.: Высшая школа, 2006. 392 с.
2. Технология листовой штамповки : учеб. пособие / В. И. Бер, С. Б. Сидельников, Р. Е. Соколов, Е. В. Иванов. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. 168 с.
3. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1997. 485 с.
4. Пасынков А. А., Яковлев С. С., Гасанов А. И. Исследование повреждаемости и полей Гартфила в стальном полуфабрикате при рифлении внутренней поверхности // Черные металлы. 2022. № 10. С. 83-86. EDN FFMEYW.
5. Левачева Д. А. Исследование ротационной вытяжки тонкостенных конических деталей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 8. С. 78-84. EDN NQUTSU.

6. Кухарь В. Д., Яковлев С. С. Разработка устройства вытяжки с локальным утонением стенки для формирования оболочек с продольными ребрами // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. Вып. 4. С. 527-533. EDN IYQVIA.

7. Кондаков Д.И. Оценка силовых характеристик процесса прошивки компьютерным моделированием // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 3. С. 128-130. EDN: SJIGZS.

8. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе QFORM V8: методические указания / составители: В.Р. Каргин, А.В. Казаков. Самара: Издательство Самарского университета, 2021. 56 с.

9. Кинзин Д.И., Рычков С.С. Использование программного комплекса Deform-3D при моделировании процессов сортовой прокатки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им.Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 45-48.

Кондаков Данила Иванович, магистрант, mpf-tula@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет.

Научный руководитель: Пасынков Андрей Александрович, канд. техн. наук., доцент, Россия, Тула, Тульский государственный университет.

FLAMING AS ONE OF THE METHODS OF SHEET STAMPING AND COMPUTER SIMULATION OF THE PROCESS

D.I. Kondakov

This article discusses the importance of computer modeling and determination of the stress and strain state in the processes of stamping of metal products. Attention is drawn to the need to take into account the complex geometric shapes of parts, material characteristics and load conditions to optimize the process and prevent possible defects. The use of the finite element method makes it possible to study various stamping parameters, such as the coefficient of friction and the configuration of the working tool, which in turn makes it possible to improve the quality of products and reduce the number of defects. The study was carried out at different friction coefficients and working tool configurations. The analysis showed that an increase in the coefficient of friction and the height of the working edge is accompanied by an increase in the intensity of stresses and deformations. The results of the study confirm that computer modeling is an effective tool for improving production processes in mechanical engineering and metalworking.

Key words: strain intensity, stress intensity, computer modeling, metal forming, stamping, part parameters, friction coefficient.

Kondakov Danila Ivanovich, student, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University.

Scientific advisor: Pasyнков Andrey Alexandrovich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula State University.

УДК 621.9.06-52

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-304-305

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЧЕТАНИЯ СИЛОВОГО И КИНЕМАТИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ В ВИБРОТРАНСПОРТНЫХ И ВИБРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С СИНФАЗНЫМИ ГАРМОНИЧЕСКИМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Н.А. Усенко

Статья посвящена теоретическому обоснованию нового способа повышения производительности вибрационных грузозачерпывающих устройств высокопроизводительных технологических систем обработки давлением.

Ключевые слова: вибробункерные грузозачерпывающие устройства, устройства с колебаниями, возбуждающие колебания, колебания.

До настоящего времени в вибробункерных грузозачерпывающих устройствах – ВБЗУ, в вибрототковых грузозачерпывающих устройствах – ВЛЗУ, а также в вибротранспортерах, виброконвейерах и вибротехнологических устройствах – вибросепараторах, виброситах, вибрационных устройствах для объёмной обработки деталей и материалов используются: силовое, кинематическое и инерционное возбуждения гармонических, синфазных колебаний [1].

На примере ВБЗУ и ВЛЗУ для транспортирования и одновременном ориентированием штучных предметов обработки-ПО при реализации синфазных гармонических колебаний при безотрывном вибротранспортировании относительная скорость не превышает 50 мм/с.

Устранение этого недостатка многими научными и производственными школами были реализованы устройства с независимыми синфазными гармоническими отдельными вынужденными колебаниями в вертикальных и горизонтальных направлениях со сдвигом по фазе, тем самым, был осуществлён переход от линейных синфазных колебаний к колебаниям отдельным с реализацией фигур Лиссажу эллипса или круга с целью значительно повышения скорости в безотрывном режиме или для интенсификации различных техпроцессов [1].

Многочисленными исследованиями доказано, то, что значительное повышение скорости вибротранспортирования ПО связано с формой траектории, определяемой соотношением амплитуд в вертикальной и горизонтальной плоскостях, углом сдвига фаз между ними и углом наклона большей оси эллипса с возможностью обеспечения желаемого реверса направления вибротранспортирования путём формирования направления обегания траектории.

В издании [2] описано большое число конструкторских решений ВБЗУ и ВЛЗУ с раздельным возбуждением колебаний. Многолетний опыт показал, что такие достижения оказались ограниченными во внедрении. Причин несколько: сложность настройки фазы угла смещения колебаний, т.к. система электромеханическая; двойной независимый привод - для возбуждения колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскостях; независимая упругая подвеска; повышенная металлоёмкость; силовое возбуждение колебаний во взаимно перпендикулярных направлениях и их настройка независимая.

Значительное снижение указанных недостатков и при сохранении вышеперечисленных достоинств на примере ВБЗУ и ВЛЗУ с силовым раздельным возбуждением колебаний оказалось возможным путём использования традиционных виброприводов с синхронным, синфазным с силовым возбуждением колебаний с сочетанием кинематического возбуждения колебаний [3].

Структурные совершенствования вибротехнологических устройств двухмассных с синфазными гармоническими колебаниями с силовым возбуждением колебаний представлено в виде цепных схем рис. 1 (а, б) для ВЛЗУ и на рис. 2 (а, б) для ВБЗУ.

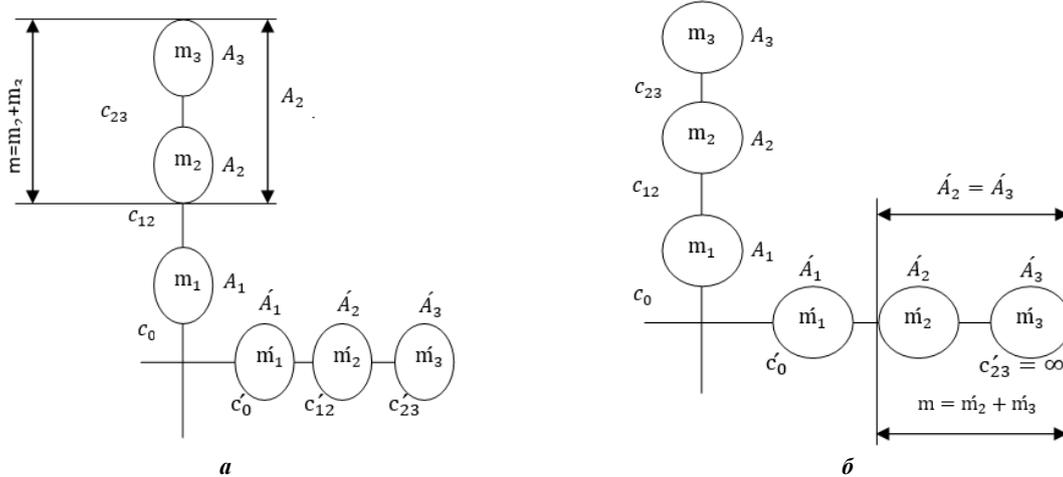


Рис. 1. Цепная схема

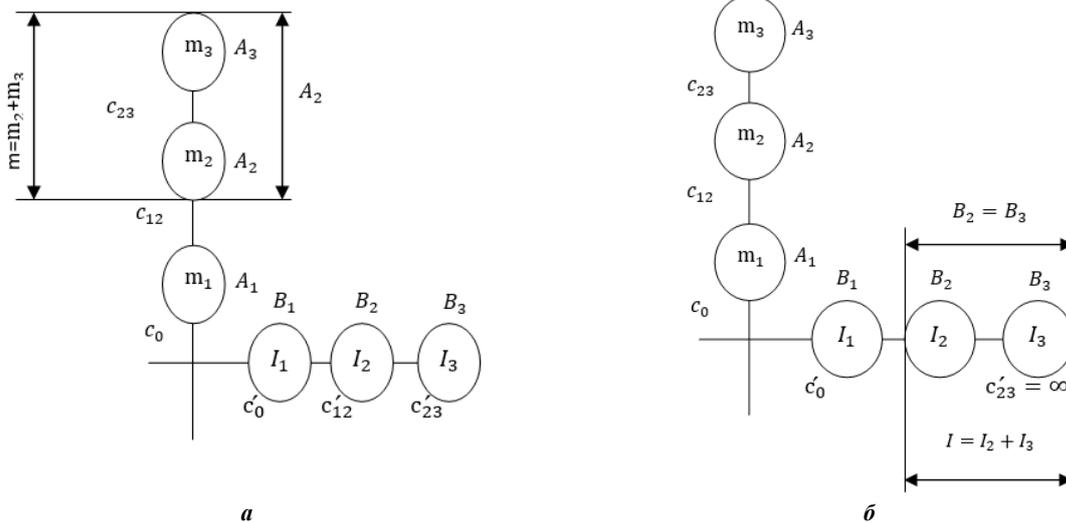


Рис. 2. Цепная схема

В первом и втором вариантах рис. 1 (а) и рис. 2 (а) иллюстрированы схемы двухмассные с колебаниями в вертикальной плоскости и трёхмассные в горизонтальной при традиционном силовом возбуждении колебаний базовых устройств и кинематическом возбуждении колебаний дополнительных третьих масс бункера или лотка с реализацией колебаний в виде фигуры Лиссажу-эллипса.

В первом и втором вариантах (рис. 1, б и 2, б) иллюстрированы схемы двухмассные с колебаниями в горизонтальной плоскости с силовым возбуждением синфазных гармонических колебаний и трёхмассные схемы с колебаниями в вертикальной плоскости с комбинированным возбуждением – силовым для двух масс и кинетическим для третьих масс – бункера или лотка с конечной целью получения колебаний третьих масс по фигуре – круг .

На примере иллюстрированной цепной схемы (рис. 2, а), принимая для системы горизонтальных колебаний в качестве обобщённых координат B_1 , B_2 и B_3 по цепной схеме в угловых перемещениях φ_{12} и φ_3 инерционных элементов I_{12} и I_3 можно представить дифференциальное уравнение движения трёхмассной системы вибробункера.

$$I_{12}\ddot{\varphi}_{12} + k_{12}(\varphi_{12} - \varphi_3) - c_{12}(\dot{\varphi}_{12} - \dot{\varphi}_3) = M_0 \sin \omega t$$

$$I_3\ddot{\varphi}_3 + k_3\varphi_3 + k_{12}(\varphi_3 - \varphi_{12}) + c_{12}(\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_{12}) + c_{12}\varphi_{12} = 0$$

где $M_0 \sin \omega t$ – момент силового возбуждения колебаний двухмассной системы I_{12} .

Обозначив $\omega_3 = \sqrt{\frac{C_3}{I_3}}$ собственная частота колебаний бункера с моментом инерции- I_3 , желаемое обеспечение её в пределах 0,9 по отношению к вынужденной частоте колебаний ω в дорезонансном режиме или 1,1 – в зарезонансном, при колебаниях с кинематическим возбуждением. Приведенный момент инерции вибропривода первичной двухмассной системы с I_1 и I_2 - $I_{12} = \frac{I_1 \cdot I_2}{I_1 + I_2}$, который должен обеспечить вблизи резонансный режим двухмассной базовой вибросистемы с силовыми возбуждением - $C_{пр} = \frac{C'_0 \cdot C'_{12}}{C'_0 + C'_{12}}$ – с реализацией собственной частоты $\omega_{01} = \sqrt{\frac{C_{пр}}{I_{12}}}$ вблизи по отношению к вынужденной.

Коэффициент динамичности при кинематическом возбуждении колебаний λ равен отношению амплитуд B_2 и B_3 (Рис. 2, а) и определяется по зависимости

$$\lambda = \frac{B_3}{B_2} = \sqrt{\frac{1 + 4n^2 * (\frac{\omega}{\omega_{03}})^2}{[1 - (\frac{\omega}{\omega_{03}})^2 + 4n^2 (\frac{\omega}{\omega_{03}})^2]}}$$

где ω - угловая частота вынужденных колебаний; ω_0 - собственная частота колебаний бункера, которая равна $\omega_0 = \sqrt{\frac{C'_{23}}{I_3}}$; n – коэффициент демпфирования.

Коэффициент динамичности λ при отношении угловых частот, например, $\frac{\omega}{\omega_0} = 0,95$ в дорезонансном режиме колебаний или $\frac{\omega}{\omega_0} = 1,08$ в зарезонансном (при n – коэффициенте демпфирования – 0,15) будет примерно равен – 3, т.е. свидетельствует о том, что амплитуда колебаний I_3 превышает амплитуду колебаний I_2 в 3 раза, сохраняя амплитуду колебаний – $m = m_2 + m_3$, $A_2 = A_3$ в необходимом режиме колебаний (с отрывом или без отрыва). Что касается фазовой характеристики то ее характер идентичен в таких случаях как для силового, так и для кинематического и инерционного возбуждения колебаний. В данном случае она строится для случая запаздывания колебаний I_3 при B_3 с кинематическим возбуждением относительно I_{12} с амплитудой B_2 - рис. 2, а при соответствующей настройке колебательной системы -дорезонансной или послерезонансной в соответствующей реализации направления вибротранспортирования – по часовой стрелке или против в связи с изменением направления большей оси эллипса и движения колеблющейся точки – против часовой стрелки при дорезонансной настройке или по часовой стрелке при зарезонансной независимо от угла наклона упругих элементов - C'_{12} - рис. 2, а. В качестве рекомендаций следует угол наклона упругих элементов C'_{12} изначальной двухмассной колебательной системы назначать в пределах от 5 до 20° относительно вертикали, т.к. при реализации безотрывного режима вибротранспортирования $A_2 = A_3 \approx 0,1_{мм}$ при угловой вынужденной частоте колебаний $314 \frac{1}{с}$ горизонтальная амплитуда колебаний B_2 (рис. 2, а) будет в пределах от 0,275 до 1,15 мм. Для вышеуказанного варианта при $\lambda \approx 3$ желательно в конструкции вибросистемы предусматривать угол наклона упругого элемента в пределах 5-20° для достижения оптимальных параметров колебаний бункера I_3 - рис. 2, а, и в связи с желаемым углом наклона и размеров большой оси эллипса.

Для случая конструирования вибротехнологических колебательных систем с целью получения колебаний по фигуре – круг, угол наклона упругих элементов - C_{23} (рис. 2, б) следует назначать от 20° до 45°. Реализацию рассмотренных примеров в соответствии цепных схем рис. 1 (а, б) и рис. 2 (а, б) можно иллюстрировать авторскими свидетельствами (4 и 5) и фотографиями натуральных образцов, представленных в учебной лаборатории «Автоматизация процессов обработки давлением» Тульского госуниверситета - рис. 3 и рис. 4.

На рис. 3 а, б представлены ВБЗУ один из которых с силовым возбуждением колебаний, а второй с сочетанием силового и кинематического возбуждения.

На рис. 4 представлено ВЛЗУ – основной лоток с силовым возбуждением синфазных гармонических колебаний, а три лотка с кинематическим возбуждением с повышенной скоростью вибротранспортирования – два из них с попутным перемещением предметов обработки, а один с противоположным – с реверсом.



а



б

Рис. 3. Натурные образцы



Рис. 4. Натурные образцы

Данное оригинальное конструкторское решение и его теоретическое обоснование позволяют для вышеуказанных ВБЗУ и ВЛЗУ, вибротранспортеров, виброконвейеров и серии вибротехнологических систем:

- повысить многократно виброреологическую эффективность;
- снизить металлоемкость в сравнении с устройствами с отдельным силовым возбуждением колебаний;
- снизить трудоемкость изготовления в 3 раза;
- повысить скорость вибротранспортирования до 5 раз – с сравнением с классическими двухмассными с силовым возбуждением виброустройств;
- сократить трудоемкость настройки вибросистемы на желаемые параметры;
- реализовать совместимость в конструктивном плане на примере ВБЗУ и ВЛЗУ (рис. 3 и рис. 4) сочетание в одном устройстве бункеров или лотков с силовым и кинематическим возбуждением гармонических колебаний.

Список литературы

1. Гонгаревич И.Ф., Фролов К.В. Теория вибрационной техники и технологий. М.: Наука, 1981. 319 с.
2. И.С. Бляхеров, Г.М. Варьяш, А.А. Иванов и др. Автоматическая загрузка технологических машин: справочник. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.
3. Патент № 2789250 С1 Российская Федерация, МПК В65G 27/00. Способ преобразования синхронных синфазных гармонических колебаний вибротранспортных и технологических устройств в синхронные гармонические колебания со сдвигом фазы и получением фигур Лиссажу: № 2022127092 : заявл. 18.10.2022 : опубл. 31.01.2023 / Н. А. Усенко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тульский государственный университет". EDN DYKRG1.
4. Патент на полезную модель № 162947 U1 Российская Федерация, МПК В65G 27/08. вибрационный бункер с электромагнитным вибратором : № 2015113553/11 : заявл. 13.04.2015 : опубл. 27.06.2016 / Е. С. Бочарова, Н. А. Усенко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тульский государственный университет" (ТулГУ). EDN RHVPYB.
5. Патент на полезную модель № 177166 U1 Российская Федерация, МПК В65G 27/04. Вибрационный лоток : № 2017127896 : заявл. 03.08.2017 : опубл. 12.02.2018 / Н. А. Усенко, А. А. Свиридов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тульский государственный университет" (ТулГУ). EDN WOFVUA.

Усенко Николай Антонович, д-р техн. наук, профессор-консультант, mpf-tula@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

USE OF A COMBINATION OF FORCE AND KINEMATIC EXCITATION OF OSCILLATIONS IN VIBROTRANSPORT AND VIBROTECHNOLOGICAL SYSTEMS WITH IN-PHASE HARMONIC OSCILLATIONS

N.A. Usenko

The article is devoted to the theoretical substantiation of a new method for increasing the productivity of vibration loading devices of high-performance technological pressure treatment systems.

Key words: vibrating hopper loading devices, devices with oscillations, exciting oscillations, oscillations.

Usenko Nikolay Antonovich, Doctor of Technical Sciences, consulting professor, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РЕЛЬЕФНОЙ ФОРМОВКИ ПЛОСКОЙ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ

Я.В. Грибачев

В современной промышленности компьютерное моделирование процессов штамповки играет ключевую роль в оптимизации производства и повышении качества изделий. Статья обсуждает значимость использования компьютерных моделей для прогнозирования поведения материалов при различных условиях штамповки, а также для оптимизации процессов формоизменения. Подробно рассматривается влияние свойств разных марок металлов на результаты штамповки, а также возможность предсказания напряжений, деформаций и других параметров. Особое внимание уделено компьютерному моделированию рельефной формовки деталей и анализу влияния коэффициента трения и материала на технологическую силу процесса. Результатом исследования являются вторичные математические модели для точного прогнозирования силы формоизменения в зависимости от параметров материала и условий трения процесса. В целом, данная статья подчеркивает важность компьютерного моделирования для эффективной работы промышленных предприятий, экономии времени и ресурсов, улучшения качества продукции и снижения вероятности дефектов.

Ключевые слова: рельефная формовка, многофакторный эксперимент, компьютерное моделирование, усилие формоизменения, листовая штамповка, обработка металлов давлением.

Компьютерные моделирования процессов штамповки играют важную роль в современной металлообрабатывающей промышленности. Они позволяют предсказать поведение материалов при различных условиях изменения формы и оптимизировать процесс для получения наилучших результатов [1-3]. Особенно важно проведение компьютерного моделирования при работе с разными марками металлов, так как каждый материал имеет свои уникальные свойства и характеристики, которые могут влиять на результаты штамповки. Например, предел прочности может влиять на усилие, необходимое для его деформации, а предел текучести может влиять на способность материала к обработке без разрушения [4-5].

С помощью компьютерных моделей возможно предсказать напряжения и деформации, возникающие в процессе штамповки, повреждаемость, температуры, контактные напряжения, давления, а также оптимизировать распределение материала для уменьшения отходов и улучшения качества изделий [6-8]. Также существует возможность учитывать такие факторы, как температура, скорость деформации, сопротивление и пр., что позволяет точнее смоделировать процесс и предсказать возможные дефекты и форму изделия заранее.

Кроме того, компьютерные модели позволяют провести сравнительный анализ различных марок металлов и выбрать наиболее подходящий материал для конкретного проекта. Например, возможно определить, какая марка металла будет наилучшим выбором для штамповки сложной детали с тонкой стенкой или для производства крупных деталей с высокой прочностью. Если кратко, то компьютерные моделирования процессов штамповки при разных марках металлов являются важным инструментом для оптимизации производства. Они позволяют экономить время и ресурсы, улучшать качество продукции и снижать вероятность дефектов, что делает их необходимыми инструментами в современной промышленности.

Одним из процессов, который требует компьютерного моделирования в связи с высокой сложностью технологического процесса и сложного напряженного-деформированного состояния является рельефная формовка [9]. Примером изделия, которое получается с помощью данного процесса является сложнопрофильное дно корпуса (рис. 1). Модель была получена при штамповке плоской листовой заготовки, имеющей форму диска, при этом модель была получена с помощью компьютерного моделирования в программе QForm.



Рис. 1. Модель детали

Одним из основных критериев штамповки является технологическая сила [10], которая необходима для проведения той или иной операции, поэтому в данной работе проводится многофакторный компьютерный эксперимент, в котором анализируется влияние коэффициента трения и штампуемого материала на усилие формоизменения.

Были выбраны 3 материала и 3 коэффициента трения. В качестве материалов были использованы сталь 10, алюминиевые сплавы АД0 и Д16, а коэффициенты трения изменялись от 0,1 до 0,3 с шагом 0,1 по Кулону. Так с помощью компьютерного моделирования был получен график силы (рис. 2).

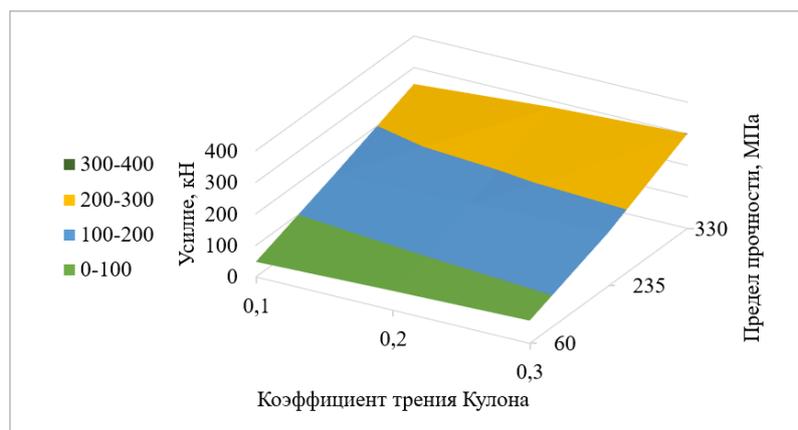


Рис. 2. Усилие формоизменения (кН)

С повышением коэффициента трения и предела прочности материала увеличивается сила изменения формы, однако большее значение имеют вторичные математические модели, которые позволяют определить силу. Ниже приведены формулы для определения силы при разных коэффициентах трения:

$$P_{0,1} = e^{3,5139+0,0061 \times \sigma_B},$$

$$P_{0,2} = e^{3,7667+0,0056 \times \sigma_B},$$

$$P_{0,3} = e^{3,9462+0,0052 \times \sigma_B},$$

где σ_B – предел прочности материала, МПа.

В итоге была определена вторичная математическая модель, которая позволяет в зависимости от коэффициента трения и предела прочности материала определить технологическую силу процесса формоизменения.

Список литературы

1. Кузьмин В. В. Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения: учебник для вузов / В. В. Кузьмин [и др.]. Москва: Высшая школа, 2008. 279 с.
2. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе QFORM V8: методические указания / составители: В.Р. Каргин, А.В. Казаков. Самара: Издательство Самарского университета, 2021. 56 с.
3. Corrugation of the Inner Surface of a Cylindrical Shell by Local Plastic Deformation / V. D. Kukhar', V. A. Korotkov, S. S. Yakovlev, A. A. Shishkina // Russian Engineering Research. 2023. Vol. 43, No. 3. P. 278-280. EDN QQLLAL.
4. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977. 278 с.
5. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением : учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
6. Пугаев П. В. Исследование операции бокового выдавливания компьютерным моделированием // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 8. С. 84-87. EDN NYFMHD.
7. Пугаев П. В. Напряженное и деформированное состояние при поперечном выдавливании втулки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 5. С. 403-406. EDN USRRHW.
8. Ашихмин В. Н. Введение в математическое моделирование: учебное пособие / В. Н. Ашихмин [и др.]; под ред. П. В. Трусова. М.: ЛО-ГОС, 2005. 440 с.
9. Яковлев С. С. Ковка и штамповка. В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / Под общ. ред. С. С. Яковлева; ред. совет : Е. И. Семенов (пред.) и др. Москва : Машиностроение, 2010. 732 с.
10. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки. М.: Машиностроение, 1989. 304 с.

Грибачев Ярослав Васильевич, аспирант, yarosl71@bk.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет.

ANALYSIS OF THE PROCESS OF RELIEF FORMING OF FLAT SHEET BLANK

Y.V. Gribachev

In modern industry, computer modeling of stamping processes plays a key role in optimizing production and improving product quality. The article discusses the importance of using computer models to predict the behavior of materials under various stamping conditions, as well as to optimize forming processes. The influence of the properties of different grades of metals on the results of stamping, as well as the possibility of predicting stresses, strains and other parameters, is considered in detail. Particular attention is paid to computer modeling of relief molding of parts and analysis of the influence

of the friction coefficient and material on the technological strength of the process. The result of the study is secondary mathematical models for accurately predicting the forming force depending on the material parameters and process friction conditions. Overall, this article highlights the importance of computer simulation for efficient operation of industrial plants, saving time and resources, improving product quality and reducing the likelihood of defects.

Key words: relief molding, multifactorial experiment, computer modeling, forming force, sheet stamping, metal forming.

Gribachev Yaroslav Vasilevich, graduate student, yarosl71@bk.ru, Russia, Tula, Tula State University.

УДК 621.73.01

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-310-311

КОМПЛЕКСНОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ С ФЛАНЦЕМ

П.В. Пугаев

В данной статье рассматривается применение компьютерного моделирования штамповки в промышленности для производства различных изделий. Учитывая такие параметры как материал, толщина листа металла, смазка, температура и геометрия штампа, данное моделирование позволяет создавать и анализировать штамповочные процессы цифровым способом, что значительно облегчает и ускоряет разработку новых технологий и операций. Программное обеспечение для компьютерного моделирования позволяет предсказать и избежать дефектов в процессе, таких, как трещины, складки и недоработки, а также сократить время и затраты на испытания и наладку оборудования. Данная статья также описывает использование компьютерного моделирования для исследования процесса объемного выдавливания металлической детали, представленной в работе. Проведенное компьютерное моделирование выдавливания стальной детали позволило определить различные характеристики процесса, такие как повреждаемость, сила формоизменения, температура и интенсивность деформаций. В результате исследования было выявлено, что параметр радиуса закругления в зоне фланцевой части штамповочной матрицы оказывает значительное влияние на все характеристики процесса выдавливания.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, программный комплекс, обработка металлов давлением, интенсивность деформаций, повреждаемость материала, штамповочное производство.

Штамповка широко применяется в промышленности для производства различных изделий, начиная от бытовых приспособлений до автомобильных и аэрокосмических деталей [1-2]. Компьютерное моделирование штамповки позволяет создавать и анализировать штамповочные процессы цифровым способом, что облегчает и ускоряет разработку новых деталей и в конечном счете увеличивает качество изделий и экономическую эффективность [3-6].

Программное обеспечение для компьютерного моделирования штамповки позволяет симулировать процесс формоизменения металла под действием внешних сил, учитывая такие параметры, как материал, толщина листа металла, смазка, температура, геометрия штампа и т.д. С помощью этих программ можно предсказать и избежать дефектообразование, таких, как трещины, складки и недоработки, также это позволяет сократить время и затраты на испытания и наладку оборудования. Кроме того, компьютерное моделирование позволяет проводить исследования и оптимизацию процессов формования для улучшения производительности оборудования, снижения износа инструментов. В общем, компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением является важным инструментом для оптимизации производственных процессов и повышения эффективности производства металлических изделий. Оно позволяет сократить время и затраты на разработку и производство, а также повысить качество и точность изделий.

Компьютерное моделирование может быть применено и для комплексного исследования процесса объемного выдавливания с получением детали, которая представлена в разрезе на рисунке.



Схема детали в разрезе

Для комплексного исследования было проведено компьютерное моделирование [7-8] выдавливания стальной муфты и были определены многие характеристики процесса. Они были получены с помощью программного комплекса QForm [9-10], так была продеформирована стальная цилиндрическая заготовка. Были проанализированы повреждаемость, усилие формоизменения, наибольшая температура и интенсивность деформаций (см. табл.).

Исследуемые характеристики

	0 мм	1 мм	2 мм	3,5 мм
Сила, кН	8500	8100	7500	6100
Повреждаемость	1	0,7	0,4	0,3
Температура, °С	62	58	54	50
Интенсивность деформаций	16	8	5,5	3,8

При этом данные характеристики определялись при разных размерах штамповочной матрицы, которые отличались друг от друга радиусом закругления в зоне фланцевой части. Было определено, что данный параметр, а именно радиус закругления значительно влияет на все исследуемые характеристики, включая и силу, и повреждаемость, и температуру, и интенсивность деформаций. При этом все характеристики снижаются при увеличении радиуса скругления, сила падает примерно на 30%, повреждаемость на 70%, интенсивность деформаций на 75%. При этом температура материала практически не меняется и существенного влияния на процесс не оказывает.

Таким образом было проанализировано деформирование цилиндрической заготовки с целью получения детали с фланцевым утолщением, которое показало однозначную закономерность. Так было выявлено, что лучше увеличивать радиус закругления для оптимизации процесса.

Список литературы

1. Теория обработки металлов давлением / Учебник для вузов / В. А. Голенков, С. П. Яковлев, С. А. Головин, С. С. Яковлев, В. Д. Кухарь / Под ред. В. А. Голенкова, С. П. Яковлева. М.: Машиностроение, 2009. 442 с.
2. Филонов И. П. Инновации в технологии машиностроения. Учебное пособие. Гриф МО Республики Беларусь / И. П. Филонов. М.: Высшая школа, 2009. 762 с.
3. Справочник технолога - машиностроителя. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. Т. 1. 656 с.
4. Семёнов Е. И. Технология и оборудованиековки и объемной штамповки / Е. И. Семёнов, В. Г. Кондратенко, Н. И. Ляпунов. М.: Машиностроение, 1978. 311 с.
5. Пасынков А. А., Яковлев С. С., Гасанов А. И. Исследование повреждаемости и полей Гартфилда в стальном полуфабрикате при рифлении внутренней поверхности // Черные металлы. 2022. № 10. С. 83-86. EDN FFMEYW.
6. Кузьмин В. В. Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения: учебник для вузов / В. В. Кузьмин [и др.]. Москва: Высшая школа, 2008. 279 с.
7. Кухарь В. Д., Яковлев С. С. Изготовление оболочек с ребрами методом пластического формоизменения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 9. С. 637-639. EDN OYDPCI.
8. Коротков В. А., Романов П. В., Платонов В. И. Определение режима изотермической штамповки на основе технологических испытаний образцов из труднодеформируемых материалов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 1. С. 202-209. EDN YVPRVD.
9. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе QFORM V8: методические указания / составители: В. Р. Каргин, А. В. Казаков. Самара: Издательство Самарского университета, 2021. 56 с.
10. Implementation of a dual mesh method for longitudinal rolling in QForm V8 / D. Gerasimov, S. Stebunov, N. Biba, M. Kadach // Materials Science Forum. 2016. Vol. 854. P. 158-162. EDN: WQAPYH.

Пугаев Павел Владимирович, студент, mpf-tula@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Научный руководитель: Пасынков Андрей Александрович, канд. техн. наук., доцент, Россия, Тула, Тульский государственный университет

COMPLEX COMPUTER SIMULATION OF 3D STAMPING OF A PART WITH A FLANGE

P.V. Pugaev

This article discusses the use of computer modeling of stamping in industry for the production of various products. Taking into account parameters such as material, sheet metal thickness, lubrication, temperature and die geometry, this simulation allows you to digitally create and analyze stamping processes, which greatly facilitates and accelerates the development of new technologies and operations. Computer simulation software can predict and avoid process defects such as cracks, folds and imperfections, and reduce the time and cost of testing and setting up equipment. This article also describes the use of computer modeling to study the process of volumetric extrusion of the metal part presented in the work. The computer simulation of the extrusion of a steel part made it possible to determine various characteristics of the process, such as damage, force of forming, temperature and intensity of deformation. As a result of the study, it was revealed that the parameter of the radius of curvature in the area of the flange part of the stamping matrix has a significant impact on all characteristics of the extrusion process.

Key words: computer modeling, software package, metal forming, strain intensity, material damage, stamping production.

Pugaev Pavel Vladimirovich, student, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Scientific advisor: Pasyнков Andrej Aleksandrovich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.73.01

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-312-313

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ФОРМОИЗМЕНЕНИИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Г.А. Вобликов

Данная статья посвящена компьютерному моделированию листовой штамповки и влиянию на температуру процессов пластического формоизменения. В ней рассматривается процесс создания виртуальных моделей листовых деталей с целью последующего изготовления штампованных изделий. Особое внимание уделяется возможностям данного метода в проектировании, анализе формы и размеров деталей, оптимизации процесса штамповки и улучшении качества готовых изделий. Одним из преимуществ компьютерного моделирования является оперативная возможность создания и корректировки технологии изготовления деталей, что значительно сокращает время и ресурсы, затрачиваемые на проектирование. В статье проводится анализ распределения температур при различных условиях формования, с использованием компьютерного моделирования в программе, такой как QForm. Исследование показывает, что температурные изменения в инструменте могут существенно влиять на механические характеристики материала полуфабриката и долговечность инструмента. Статья представляет важные результаты исследований в области контроля температур при формовании, что является важным фактором для обеспечения качественного производства изделий методами пластического формоизменения.

Ключевые слова: листовая штамповка, компьютерное моделирование, технологическая сила, распределение температур, отбортовка с утонением, штамповая оснастка.

Компьютерное моделирование листовой штамповки – это процесс создания виртуальных моделей для последующего изготовления изделий. Этот метод позволяет проектировать и анализировать форму и размеры детали, оптимизировать процесс штамповки и улучшить качество конечного изделия.

Одним из основных преимуществ компьютерного моделирования является возможность быстрого создания и изменения технологии изготовления детали, что существенно сокращает время и затраты на проектирование, кроме того, благодаря использованию специального программного обеспечения можно проводить различные расчеты и анализы, например, оптимизировать распределение материала в детали для снижения ее массы или увеличения прочности [1-4].

Для моделирования листовой штамповки используются различные программы, такие как CAD/CAM системы, которые позволяют создавать трехмерные модели деталей и проводить различные расчеты и симуляции процесса штамповки. Важным этапом в данном процессе является симуляция процесса штамповки, которая позволяет выявить возможные проблемы с формоизменением материала и предотвратить их до начала производства.

Кроме того, компьютерное моделирование листовой штамповки позволяет сократить количество прототипов и испытаний, что значительно экономит время и деньги на производстве. Благодаря точному моделированию и анализу деталей можно улучшить их качество, повысить производительность и снизить расходы на материалы.

Таким образом, компьютерное моделирование листовой штамповки является эффективным инструментом для проектирования и производства листовых деталей, оно позволяет сократить время и затраты на разработку, улучшить качество и производительность изделий и сделать процесс штамповки более эффективным и экономичным [5-8].

Одной из характеристик, которую требуется определять является температура полуфабриката и инструмента (рис. 1). Этот параметр сильно влияет на механические характеристики материала полуфабриката, а также стойкость и долговечность инструмента [9-10].

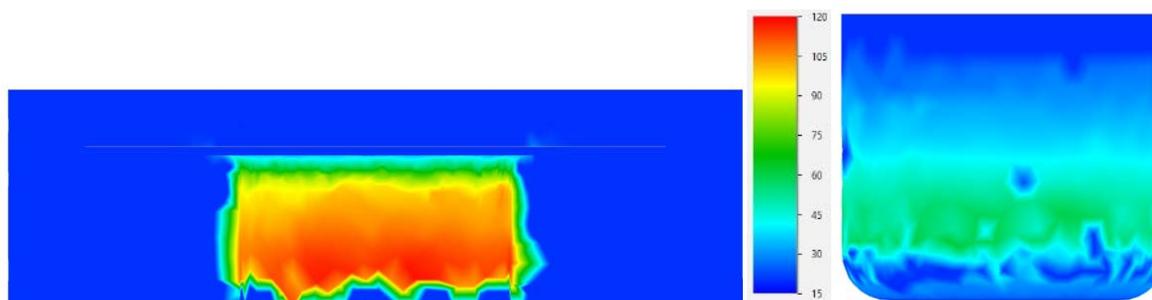


Рис. 1. Распределение температур

Изображения, приведенные на рисунке 1, были получены при отбортовке с утонением стальной заготовки. Исследование проводилось при помощи компьютерного моделирования в программе QForm. В итоге установлено, что температура матрицы повышается до 120°C, что связано с высокой степенью работы трения, на пуансоне же температура значительно ниже и составляет не более 75°C. Это приводит к тому, что в результате постоянного массового формоизменения этим инструментом значительно повышается его температура, зачастую до температур выше 500-600°C. В этом случае возможно изменение механических характеристик материала заготовки. Поэтому были проведены дополнительные компьютерные моделирования, при которых использовался холодный и подогретый формоизменением инструмент. Так были получены распределения температур в полуфабрикате (рис. 2).

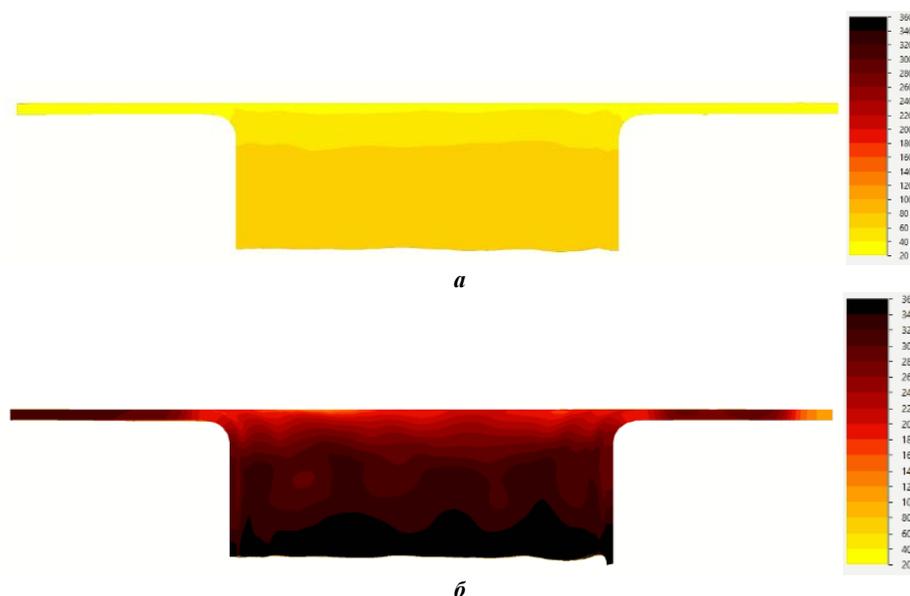


Рис. 2. Распределение температур: а – при холодном инструменте, б – при нагретом инструменте

Так в результате формообразования горячим инструментом температура металла повышается до 360°C, однако стоит отметить, что это повышение практически не влияет на пластичность материала и не меняет ход процесса в значительной степени. Поэтому в данном случае увеличение температур инструмента не влияет на процесс в целом, однако возможно увеличение температуры инструмента в дальнейшем приведет к изменениям в силовых параметрах, или изменит устойчивость заготовки ко внешним нагрузкам.

Список литературы

1. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе QFORM V8: методические указания / составители: В.Р. Каргин, А.В. Казаков. Самара: Издательство Самарского университета, 2021. 56 с.
2. Яковлев С. С. Исследование процесса рифления инструментом ограниченной длины // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 11. С. 480-484. EDN XIKHYC.
3. Грибачев Я. В. Комплексное исследование выдавливания полуфабриката при различных условиях трения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 10. С. 420-423. EDN KUVGNA.
5. Филонов И.П. Инновации в технологии машиностроения. Учебное пособие. Гриф МО Республики Беларусь / И.П. Филонов. М.: Высшая школа, 2009. 762 с.
6. Вобликов Г.А. Влияние параметров инструмента на проведение операции отбортовки с утонением // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 4. С. 349-352. EDN: YDFGMS.
7. Гасанов А. И. Напряженное и деформированное состояние при получении изделия типа «стакан» // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 5. С. 400-403. EDN: JHKQSE.
8. Анисеева Ю. С. Анализ напряжений и деформаций при получении цилиндрических деталей с фланцевой частью // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 5. С. 410-412. EDN ECGOFN.
9. Грибачев Я. В. Исследование растягивающих и сжимающих напряжений при комбинированном выдавливании // Инициативы молодых - науке и производству. Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции для молодых ученых и студентов. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. С. 49-51. EDN QEAZRF.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680050 Российская Федерация. Программа для расчета отходов металла при вырубке : № 2022669403 : заявл. 18.10.2022 : опубл. 26.10.2022 / С. С. Яковлев, А. А. Шишкина, С. Н. Ларин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет». EDN ZUYMZB.

Вобликов Григорий Алексеевич, магистрант, mpf-tula@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

Научный руководитель: Платонов Валерий Иванович, канд. техн. наук., доцент, Россия, Тула, Тульский государственный университет

ANALYSIS OF TEMPERATURES DURING PLASTIC CHANGE OF SHEET METAL

G.A. Voblikov

This article is devoted to computer modeling of sheet stamping and the effect of plastic forming processes on temperature. It discusses the process of creating virtual models of sheet metal parts for the purpose of subsequent production of stamped products. Particular attention is paid to the capabilities of this method in design, analysis of the shape and size of parts, optimization of the stamping process and improvement of the quality of finished products. One of the advantages of computer modeling is the rapid ability to create and adjust technology for manufacturing parts, which significantly reduces the time and resources spent on design. The article analyzes the temperature distribution under various molding conditions using computer simulation in a program such as QForm. The study shows that temperature changes in the tool can significantly affect the mechanical characteristics of the semi-finished material and the durability of the tool. The article presents important research results in the field of temperature control during molding, which is an important factor for ensuring high-quality production of products using plastic forming methods.

Key words: sheet stamping, computer modeling, technological strength, temperature distribution, flanging with thinning, stamping equipment.

Voblikov Grigoriy Alekseevich, student, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University

Scientific advisor: Platonov Valery Ivanovich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.73.01

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-314-315

АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

С.С. Яковлев, Ю.С. Галкин, Я.В. Грибачев

Статья рассматривает метод конечных элементов как способ решения проблем и задач пластического формоизменения металлических заготовок. Этот метод позволяет моделировать и анализировать поведение сложных систем в различных областях науки и техники. Описываются основные преимущества и недостатки данного метода, а также программные продукты, базирующиеся на данном способе для компьютерного моделирования процессов формоизменения металла. Программы, такие как Ansys, QFORM, DeForm, ABAQUS, и другие, обсуждаются с точки зрения их функциональности и области применения. Проанализированы различные программные продукты для компьютерного моделирования обработки металлов давлением, приводятся их преимущества и недостатки, подчеркивая области применения и функциональные возможности.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, метод конечных элементов, обработка металлов давлением, программное обеспечение.

В настоящее время проблемы и задачи пластического формоизменения металлических заготовок часто решают с помощью метода конечных элементов (МКЭ) [1]. Этот метод позволяет моделировать и анализировать поведение сложных систем и объектов в разных областях науки и техники, включая механику конструкций, аэрокосмическую отрасль, автомобилестроение, гидродинамику, биомедицинскую инженерию, механику деформирования твердого тела и многие другие. Так МКЭ представляет собой численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики [2]. Метод основан на разбиении объекта исследования на более мелкие, конечные элементы, в результате чего сложная задача упрощается до системы, которую можно эффективно разрешить с помощью стандартных вычислительных алгоритмов [3].

Метод конечных элементов был разработан в 1930-40-х годах в рамках исследований по теории упругости и строительной механики, одними из создателей данного метода являются Александр Павлович Хренников, Рихард Курант, Иоаннис Аргириис, Фен Кан. Развитие вычислительной техники и дальнейшее совершенствование МКЭ способствовало более широкому распространению и применению метода в различных областях.

Данный метод стал популярным в современной науке благодаря ряду преимуществ [5]:

- высокая гибкость и способности адаптироваться к задачам любой сложности и геометрии;
- возможность решения задач, которые невозможно или трудно решить другими численными методами;
- возможность компьютеризации и автоматизации расчетов,

- возможность настройки точности расчета за счет уменьшения или увеличения количества элементов (укрупнения или уменьшения их размеров);

- возможность применения метода для решения мультифизических задач [6].

Однако, у метода есть и недостатки. В частности, требуется значительный объем вычислительных ресурсов, особенно для больших и сложных задач. Сложность настройки модели и интерпретации результатов, требует высокая квалификация и глубокие знания как в области предметной дисциплины, так и в численных методах. Также необходимы дорогостоящие программные продукты.

Наибольшее распространение МКЭ получил благодаря возможности его реализации в компьютерном программном обеспечении, что значительно облегчает процесс расчета и анализа полученных данных.

Существует множество программных продуктов, основанных на МКЭ, которые применяются при исследовании процессов пластического формоизменения и моделирования операций. Достоинством применения программ является быстрота компьютерных моделирований, возможность предварительного анализа технологических процессов до их реализации, экономия временных и материальных ресурсов, возможность оптимизации процессов формоизменения.

Наиболее распространенными программными обеспечениями для компьютерного моделирования обработки металлов давлением являются: Ansys, QFORM, Comsol, DeForm, LS-DYNA, ABAQUS, PAM-STAMP, AutoForm. Далее проводится анализ перечисленных программных продуктов.

AutoForm – программа для проведения расчетов листовой штамповки родом из Швейцарии и выпускаемая компанией «AutoForm Engineering GmbH» [7]. Из минусов программы можно назвать относительно невысокие возможности, так как позволяет провести анализ только процессов листовой штамповки.

PAM-STAMP – французская программа, разработанная компанией ESI-Group [8]. Программа позволяет провести анализ процессов листовой штамповки, гидроформовки, штамповки эластичной средой и пр. Главным недостатком является отсутствие возможности моделировать ковку, объемную штамповку и многие другие процессы.

ABAQUS – многофункциональная программа, используемая для численного моделирования большого числа задач из области машиностроения, авиа- и автомобилестроения, энергетики [9]. Тем не менее, основываясь на данных, полученных по результатам литературного обзора, можно отметить, что непосредственно для моделирования процессов пластического формоизменения в России данную программу не так часто используют. Так как ABAQUS имеет не самый простой интерфейс и является ресурсоемким, что влечет дополнительные трудности, при этом программа ориентирована преимущественно на рынки других стран, нежели РФ, так как отсутствует русскоязычная поддержка, и почти не имеются справочники и руководства.

Ansys – одна из самых известных программ, основанных на методе конечных элементов и позволяет рассчитать рекордное количество различных процессов и физик [10]. Возможен расчет аэродинамики, акустики, механики деформирования твердого тела, гидравлики, трехмерной печати, механики конструкции, теплопередачи и теплообмена и пр. Представляет собой сложноструктурированный программный продукт, имеющий большое количество модулей. Однако высокая сложность организации моделирования, отсутствие русификации, трудный для восприятия и анализа данных интерфейс, высокая стоимость и необходимость в покупке большого числа модулей, по мнению авторов, делает данный программный продукт менее популярным для анализа процессов обработки металлов давлением нежели программы DeForm и QForm.

В России в настоящее время для решения задач пластического изменения формы наиболее распространенными программами конечно-элементного моделирования являются QForm и DeForm, также они ориентированы преимущественно на обработку металлов давлением. Поэтому далее будет проведено более детальное их сравнение.

QForm – российский программный продукт, разработанный компанией «Кванторформ», и имеет большое количество преимуществ [11]:

- возможность моделирования большого разнообразия процессов (прокатка, раскатка, листовая и объемная штамповка, ковка, прессование, электровысадка и пр.);

- встроенные обширные библиотеки материалов с механическими характеристиками, смазок, оборудования;

- возможность оценки влияния температуры на процессы формоизменения при подогреве заготовки и инструмента, внешнем нагреве/охлаждении, деформационном нагреве и пр.;

- возможность глубокой настройки сетки конечных элементов, их размеров и распределения, при этом не только заготовки, но и инструмента;

- простой и понятный интерфейс;

- возможность учета как пластических, так и упругих деформаций;

- тонкая настройка условий формоизменения (скорости движения инструментов, критериев остановки расчета и пр.);

- возможность анализа размера зерен материала и фазовых превращений;

- возможность расчета износа и напряженно-деформированного состояния инструмента;

- наличие встроенные подпрограмм и пользовательских подпрограмм, которые позволяют провести дополнительные расчеты и анализ по желанию оператора;

- большое количество встроенных методов оценки повреждаемости, вероятности образования дефектов и пр.;

- возможность пакетного запуска расчетов, что значительно сокращает время моделирования;

- возможность точного анализа характеристик в точке с помощью ее трассировки;

- большие возможности для построения графиков, диаграмм распределения, анализа статистики и составления отчетов;

- большое количество руководств и справочников на русском языке и русскоговорящая круглосуточная поддержка.

DEFORM – программный комплекс для анализа процессов обработки металлов, разработанный в США компанией "SFTC". Имеет большие возможности для анализа широкого набора процессов, однако, по мнению автора, имеет ряд недостатков: отсутствие русификации и русскоязычной поддержки; сложный интерфейс и методика построения компьютерной модели, так как используется система pre- и post- процессоров; относительно небольшая база данных материалов и смазок.

Рассматривая более подробно эти комплексы можно сделать вывод о том, что они оба являются достойными для решения задач в обработке металла давлением. Однако у QForm имеется ряд преимуществ перед DEFORM.

Работа выполнена в рамках гранта Правительства Тульской области в сфере науки и техники № ДС/132.

Список литературы

1. Математическое моделирование технологических процессов и метод обратных задач в машиностроении / Тихонов А.Н. и др. М.: Машиностроение, 1990. 264 с.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. М.: Машиностроение, 1975. 658 с.
3. Даутов Р.З., Карчевский М.М. Введение в теорию метода конечных элементов. Учебное пособие. Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова–Ленина, 2004. 239 с.
4. Каменев С. В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях: учебное пособие / С. В. Каменев; Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2019. 110 с.
5. Будилов И. Н. Решение мультифизических задач на основе цифровых прототипов / И. Н. Будилов, В. С. Жернаков // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2020. Т. 24, № 3(89). С. 10-19.
6. AutoForm // AutoForm Engineering GmbH URL: <https://www.autoform.com/en/> (дата обращения: 15.08.2023).
7. ESI Group // PAM-STAMP Stamping Simulation Software URL: <https://www.esi-group.com/products/pam-stamp> (дата обращения: 15.08.2023).
8. ABAQUS Применение комплекса в инженерных задачах // Инжиниринговая компания ТЕСИС URL: https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/abaqus/abaqus_metodic_2010.pdf (дата обращения: 15.08.2023).
9. Морозов Е. М. ANSYS в руках инженера. Механика разрушения / Е.М. Морозов, А.Ю. Муйземнек, А.С. Шадский. М.: Ленанд, 2010. 456 с.
10. QForm 2D/3D Программа для моделирования процессов обработки металлов давлением Версия VХ. Часть 2. Руководство пользователя. «КванторФорм», 2018. 431 с.

Яковлев Сергей Сергеевич, ассистент, yakovlev-ss-science@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Галкин Юрий Сергеевич, аспирант, dock13@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Грибачев Ярослав Васильевич, аспирант, yarosl71@bk.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет.

ANALYSIS OF SOFTWARE FOR COMPUTER SIMULATION OF PRESSURE TREATMENT PROCESSES OF METALS

S.S. Yakovlev, Y.S. Galkin, Y.V. Gribachev

The article discusses the completion method as a way to solve the problems and problems of plastic elements and the shaping of metal blanks. This method allows you to simulate and analyze the behavior of complex systems in various fields of science and technology. The main advantages and disadvantages of this method, as well as software products, are the consequences for this method of computer modeling of metal forming processes. Programs such as Ansys, QFORM, DeForm, ABAQUS and others are discussed in terms of their functionality and scope. Various software products for computer modeling of metal forming are analyzed, taking into account their advantages and disadvantages, taking into account the areas of application and capabilities of working bodies.

Key words: computer modeling, finite element method, metal forming, software.

Yakovlev Sergey Sergeevich, assistant, yakovlev-ss-science@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Galkin Yuri Sergeevich, graduate student, dock13@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Gribachev Yaroslav Vasilevich, graduate student, yarosl71@bk.ru, Russia, Tula, Tula State University.

РАЗРАБОТКА ВЕРХНЕГРАНИЧНОЙ МОДЕЛИ ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ В КОНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ НИЗКИХ КВАДРАТНЫХ КОРОБОК ИЗ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА

А.Н. Малышев

В настоящей статье разработаны математические модели для оценки напряженно-деформированного состояния и силового режима процесса изотермической вытяжки квадратных коробок с деформационным упрочнением по схеме «круг – квадрат» в конической матрице. Разработанные математические модели позволяют произвести оценку технологических параметров процесса вытяжки.

Ключевые слова: штамповка, вытяжка, низкая квадратная коробка, анизотропия.

Изготовление коробчатых деталей различного назначения из листового материала посредством реализации операции вытяжки с точки зрения технологии, оборудования и материалов является одним из наиболее универсальных, экономически целесообразных и эффективно реализуемых способов листовой штамповки по сравнению с другими, используемыми для изготовления корпусных деталей в машиностроении.

Вытяжка квадратных коробок небольшого размера может быть реализована как с использованием радиальной матрицы (с радиальной «входной» и «выходной» кромками), так и с использованием конической матрицы, в которой исходная листовая заготовка круглого профиля деформируется квадратным пуансоном в матрице комбинированного профиля, верхняя часть которой представляет собой конус, а нижняя имеет квадратную форму, образуя вытяжную поверхность гиперболической формы за счет пересечения конической поверхности плоскостями прямых стенок нижнего квадратного «выходного» профиля матрицы [1-4].

Известен ряд работ [5-6], в которых получены модели вытяжки коробчатых деталей в радиальной матрице на основе экстремальной верхнеграничной теоремы, а в связи с определенными преимуществами [1-4] использования конической матрицы в качестве альтернативы использования радиальной матрицы возникает необходимость более детальной разработки операции вытяжки квадратных коробок в конической матрице. Целью настоящего исследования является разработка модели операции вытяжки в конической матрице низких квадратных коробок из трансверсально-изотропного материала основе экстремальной верхнеграничной теоремы с учетом кинематики течения деформируемого материала, что предполагает получение «нижней» оценки сил из всех кинематически возможных «верхних».

В настоящей работе материал исходной листовой круглой заготовки принят трансверсально-изотропным, является жесткопластическим с деформационным упрочнением, состояние которого соответствует модели изотропного упрочнения трансверсально-изотропного тела:

$$\sigma_e = k \varepsilon_e^m, \tag{1}$$

где σ_e – эквивалентное напряжение (интенсивность напряжений); ε_e – эквивалентная деформация; k и m – константы материала.

Силовой режим вытяжки на основе положений верхнеграничной теоремы может быть представлен в виде общего уравнения мощностей:

$$PV_n \leq W_{вн} + W_p + W_{тр}, \tag{2}$$

где PV_n – собой мощность внешних сил P (сила пресса) при скорости движения пуансона V_n , правая представляет собой сумму мощностей внутренних сил деформаций $W_{вн}$, мощности на линиях разрыва скоростей W_p и мощности трения $W_{тр}$ на поверхностях контакта материала с инструментом.

На рисунке указаны следующие параметры: r_0 – радиус исходной заготовки; d – диаметр заходной поверхности матрицы; γ – угол наклона конической поверхности матрицы; V_n – скорость движения пуансона, $2a$ – расстояние между угловыми центрами пуансона (матрицы), $\rho_{z(H)}$ – отрезок, описывающий внутреннюю поверхность конической матрицы в зависимости от координаты z , которая меняется в диапазоне от 0 ($z = 0$, уровень выходного квадратного окна матрицы) до H ($z = H$, уровень заходного круглого окна конической матрицы, т.е. полная высота матрицы), $\rho_{z(H)}$ может быть описан следующей системой уравнений:

$$\rho_{z(H)} = \begin{cases} \frac{H \cdot h - z(2h - D \cdot \cos\alpha)}{2H \cdot \cos\alpha}; & 0 \leq \alpha \leq \alpha_1 \\ \frac{H \cdot h - z(2h - D \cdot \cos\alpha_1)}{2H \cdot \cos\alpha_1}; & \alpha_1 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{4}, \end{cases}$$

где $\alpha_1 = \arctg(1 - 2h/r)$.

Мощность трения $W_{тр}$ для четверти заготовки на поверхности фланца между прижимом и матрицей в зонах деформаций в жестких зонах рассчитывается по следующей формуле:

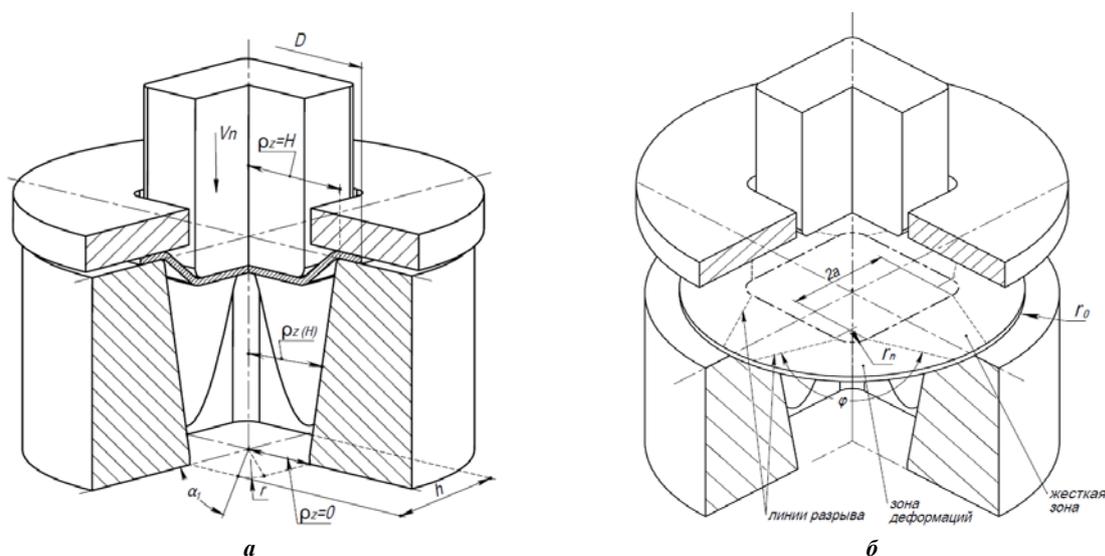
$$W_{тр} = 8\mu q \left\{ \frac{1+R}{2+R} \left(\frac{d}{2} - H \cdot \operatorname{tg}\gamma - a \right)^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[\left(\frac{r_{01}}{r_n} \right)^{\frac{2+R}{1+R}} - 1 \right] d\varphi + \left[a\sqrt{r_0^2 - a^2} - a(a + r_n) + r_0^2 \arcsin \frac{a}{r_0} \right] \right\}, \tag{3}$$

где $r_{01} = a \frac{(1+\sin 2\varphi)}{(\sin\alpha + \cos\alpha)} \sqrt{1 - \frac{(2a^2 - r_0^2)}{a^2} \cdot \frac{(\sin\alpha + \cos\alpha)}{(1+\sin\alpha)}}$ – радиус дуги внешнего контура зоны деформаций относительно центра перемещений; R – коэффициент анизотропии, q – давление прижима, μ – коэффициент трения заготовки на контактных поверхностях штампа, φ – угол, определяющий зону деформаций ($0 \leq \varphi \leq \pi/2$).

Мощность внутренних сил $W_{вн}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$W_{вн} = 4k\chi^{1+m} \cdot \delta_0 V_n \cdot r_n^{\frac{R-1}{1+R} - m+p} \cdot \int_0^{\pi/2} \left\{ \frac{1}{p} \left[\left(\frac{r_{01}}{r_n} \right)^p - 1 \right] - \frac{m}{p-1} \left[\left(\frac{r_{01}}{r_n} \right)^{p-1} - 1 \right] \right\} d\varphi, \tag{4}$$

где $p = 2 + m + \frac{1-(1+2R)}{1+R}$, $\chi = \left[\frac{2(2+R)}{3(1+R)} \right]^{1/2}$, r_{01} - радиус дуги внешнего контура зоны деформаций относительно центра перемещений [7, 8].



Однооперационная вытяжка квадратной коробки: а - схема операции, б - заготовка с разрывным полем скоростей

Мощность W_p на линиях разрыва скоростей:

$$W_p = 8k\eta\chi^m \cdot \delta_0 \cdot V_n \cdot r_n^{p-m+\frac{R-1}{1+R}} \cdot \left(\sqrt{r_0^2 - a^2} - a \right)^{\frac{1}{1+R}} \left[1 - \left(\frac{r_n}{\sqrt{r_0^2 - a^2} - a} \right)^{\frac{R}{1+R}} \right] \times \left\{ \frac{1}{p} \left[\left(\frac{\sqrt{r_0^2 - a^2} - a}{r_n} \right)^p - 1 \right] - \frac{m}{p-1} \left[\left(\frac{\sqrt{r_0^2 - a^2} - a}{r_n} \right)^{p-1} - 1 \right] \right\}, \quad (5)$$

где $\eta = \left[\frac{1+R}{2(1+2R+\mu_\sigma^2)} \right]^{1/2}$, μ_σ - коэффициент вида напряженного состояния (для вытяжки принимаем $\mu_\sigma=0,553$) [8, 9].

Полученные модели представляют собой формализованное представление зависимостей геометрических, энергетических и физико-механических параметров процесса вытяжки низких квадратных коробок в конической матрице из трансверсально изотропного материала от значений исходных параметров.

Список литературы

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., Л.: Машиностроение, 1979. 520 с.
2. Валиев С.А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов. М.: Машиностроение, 1973. 176 с.
3. Малышев А.Н., Бысов С.А., Кухарь В.Д., Бессмертная Ю.В. Экспериментальное исследование вытяжки стальных квадратных коробок по схеме «круг-квадрат» в радиальной и конической матрице // Черные металлы. 2022. №5. С. 74-78.
4. Кухарь В. Д., Малышев А. Н., Бессмертная Ю. В. Вытяжка квадратной коробки из листовой заготовки в радиальной и конической матрице // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Тула: Издательство ТулГУ. 2016. Вып. 7. С. 9-13.
5. Бессмертная Ю.В., Яковлев Б.С., Малышев А.Н. Построение математической модели операции изотермической вытяжки квадратных коробок из высокопрочных анизотропных материалов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Тула: Издательство ТулГУ. 2016. Вып.1. С. 16-28.
6. Бессмертная Ю.В., Ларин С.Н., Малышев А. Н. Исследование влияния скоростных параметров на силовые режимы изотермической вытяжки квадратных коробок из анизотропных материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016. № 3 (317). С. 126-132.
7. Яковлев Б.С. Изотермическая вытяжка коробчатых деталей из высокопрочных анизотропных материалов в режиме кратковременной ползучести: Дис. канд. техн. наук: 05.03.05: Тула. 2007. 184 с.
8. Яковлев С.П., Яковлев С.С., Андрейченко В.А. Обработка давлением анизотропных материалов. Кишинев: Квант, 1997. 332 с.
9. Яковлев С.П., Чудин В.Н., Яковлев С.С., Соболев Я.А. Изотермическое деформирование высокопрочных анизотропных материалов. М.: Машиностроение, 2004. 427 с.

Малышев Александр Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Im-kf.mgtu@inbox.ru, Россия, Калуга, Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

*DEVELOPMENT OF AN UPPER BOUNDAR MODEL OF THE DREWING OPERATION IN A CONICAL MATRIX OF
LOW SQUARE BOXES FROM TRANSVERSE-ISOTROPIC MATERIAL*

A.N. Malyshev

In this article mathematical models have been developed to assess the stress-strain state and force mode of the process of isothermal drawing of square boxes with strain hardening according to the “circle-square” scheme in a conical matrix. The developed mathematical models make it possible to assess the technological parameters of the drawing process.

Key words: stamping, drawing, low square box, anisotropy

Malyshev Alexander Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, Im-kf.mgtu@inbox.ru, Russia, Kaluga, Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch

УДК 628.9

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-320-321

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В.А. Зайцев, О.Г. Земцова, А. Г. Елистратова, Е.И. Минаков, Р.П. Лукьяновец

Проведено сравнение осветительных систем вертикального положения в помещениях, где боковые проемы ориентированы по сторонам света, и осветительных систем горизонтального положения на крыше здания. Показано, что световые проемы в качестве полых трубчатых световодов имеют высокую первоначальную стоимость, однако обладают лучшими теплофизическими параметрами, а эффективная транспортировка естественного света и его распределение по помещению, осуществленные ими, снижают годовые затраты на освещение.

Ключевые слова: световод, здания, методика, освещение, оценка.

Последнее десятилетие весьма активно ведется поиск оптимальных решений, касающихся того, как же эффективно использовать естественный свет. Данные поиски увенчались определенным успехом, однако не смогли в достаточной мере убедить владельцев зданий внедрить в них соответствующие оригинальные конструктивные решения. Причина этого, главным образом, заключается в том, что проведение естественного света внутрь здания означает большие затраты и продолжительный срок их окупаемости.

Необходимо отметить, что экономические оценки не принимают в расчет следующее: через светопроемы в помещения проникает значительно большее количество естественного света, чем требуется нормативами, при этом поступающее излучение обладает более высоким качеством спектра. Поэтому следовало бы учитывать все количество естественного света, которое проникает через светопроемы, а не только то количество, которое приходится на определенные часы в году, когда уровни естественного освещения выше минимально требуемых.

Также важность приобретает проведение долговременного сравнения работы различных осветительных систем, основываясь на оценке суммарных затрат на них (как эксплуатационных, так и капитальных). К примеру, провести сравнение за полный срок эксплуатации зданий.

Обратимся к сравнению осветительных систем вертикального положения в помещениях, где боковые проемы различно ориентированы по сторонам света, и осветительных систем горизонтального положения на крыше здания, которые представляют собой светоприемные элементы (коллекторы) полый трубчатый световод (ПТС). Для выполнения этих вычислений была использована программа расчета OriginPro. Все расчёты естественного освещения произведены для светового климата города Пензы. Исходные данные взяты из многолетней базы данных солнечного света. Для систем, которые установлены на крыше, световых колодцев и световодных систем значения наружной общей освещенности (от небосвода и Солнца) были рассчитаны на приёмной плоскости коллектора.

Оценка светового потока, производимого системой освещения. Сравнивая различные системы естественного освещения, можно столкнуться с такой сложностью, как разная степень их способности вводить и распределять свет внутри помещения. Так, для фонарей верхнего света характерно распространение света сверху, в виду чего с увеличением расстояния от них уменьшается уровень освещенности. У боковых светопроемов неравномерное распределения освещенности, то есть освещение лучше непосредственно рядом с ними, тогда как по мере удаления от них освещенность резко снижается и так же резко меняются углы падения излучения на рабочую поверхность (РП).

Чтобы избежать рассмотрения распределения освещенности по РП, целесообразно ввести понятие средней освещенности на РП, а также понятие полного светового потока, падающего на РП. Световые решения сравнивались при условии пасмурного неба, чтобы исключить прямую составляющую солнечного света, для 15 дня декабря и июня. Для выполнения вычислений использовались программы светового моделирования Dialux 4.11. Для осуществления моделирования световодных систем и трапециевидных фонарей использовались данные [1] и методики [2]. Ориентация вертикальных оконных проемов по сторонам света в случае облачного неба не имеет существенного значения, поэтому, исходя из компьютерных расчетов, была принята усредненная величина. Длина ПТС была выбрана 2,4 м при диаметре каждой 530 мм.

Рисунки 1 и 2 представляют ход средней освещенности на РП помещения на протяжении суток от различных светопроводящих систем, занимающих одинаковую площадь.

На графиках показано следующее: ПТС как источники естественного света эффективнее по сравнению с традиционными боковыми проемами, а также системой верхнего света, которое в нашем случае представлено трапециевидными фонарями. Эффективность ПТС обеспечивает купол световода, который захватывает большее количество светового потока, что в итоге и повышает световую эффективность системы.

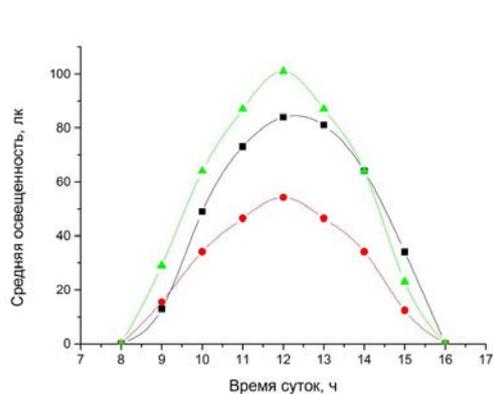


Рис. 1. Величины средней освещенности помещения в декабре, лк

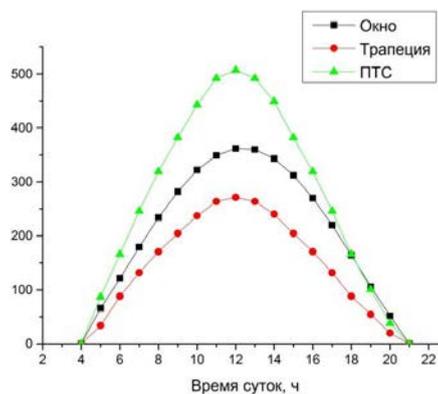


Рис. 2. Величины средней освещенности помещения в июне, лк

Тем не менее, использовать для освещения только световоды можно лишь в промышленных, складских, а также производственных помещениях, поскольку в них не играет большой роли визуальная связь с окружающей средой. Что касается зданий общественного и административного назначения, то они требуют комплексных систем освещения.

Оценка теплоступлений от солнечной радиации. Теплоступления в здание от солнечной радиации в течение года через окна или фонари верхнего света Q_s , МДж или кВт·ч, определяются согласно формуле:

$$Q_s = \sum_{i=1}^J \tau_j \cdot \kappa_j \cdot S_{oj} Q_j \quad (1)$$

где J – число ориентации по сторонам света, включая горизонтальную плоскость; j – номер ориентации по сторонам света, на которую ориентированы какие-либо ограждения здания; $j=1,2,\dots,J$; τ_j – коэффициент учета затенение непрозрачными элементами окна или фонаря, выходящего на j -ю ориентацию по сторонам света; κ_j – коэффициент относительного проникновения солнечной радиации через прозрачную часть окна или фонаря j -й ориентации по сторонам света; S_{oj} – площадь окна/световода, выходящего на j -ю ориентацию по сторонам света, м²; Q_j – поток суммарной солнечной радиации, приходящей за отопительный период на поверхность j -й ориентации по сторонам света, МДж/м² или кВт·ч/м².

Расчетные параметры стекла для оконных проемов принимались с учетом климатических условий г. Пенза. Использовались: а) двухкамерные стеклопакеты с мягким селективным покрытием при коэффициенте приведенного сопротивления теплопередаче $R_{0}=0,68$ м²·°С/Вт, $\tau=0,8$, $k=0,48$, б) ПТС марки Solatube Daylightingsystems (США), обладающие средним сопротивлением теплопередаче 0,28 м²·°С/Вт [3] и коэффициентом проникновения солнечной радиации равным 0,16 [4]. Определим общегодовые теплотери в помещении от солнечной радиации через светопрозрачные конструкции различной площади.

На рисунке 3 показано линейное возрастание теплоступлений при увеличении площади светопрозрачных конструкций. Как и следовало полагать, наибольшее поступление тепла обеспечивает южная ориентация окна. Зимой такая ориентация благоприятна, так как компенсирует тепловые потери, летом же, это расположение влечет за собой расходы на вентиляцию и кондиционирование [5, 6].

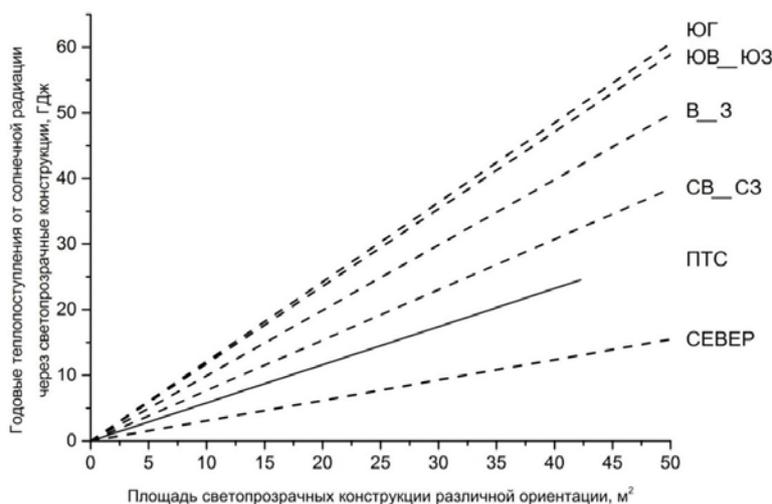


Рис. 3. Зависимость теплоступлений от солнечной радиации (ГДж) помещение от площади светопрозрачной конструкции (м²) при различной ее ориентации

Важно указать, что для обеспечения одинакового КЕО площади боковых окон и ПТС должны существенно различаться. То есть для того, чтобы иметь КЕО равным 1,5% площадь окна должна быть 26 м², а общая площадь ПТС должна быть всего 6м² (см. рисунок 30).

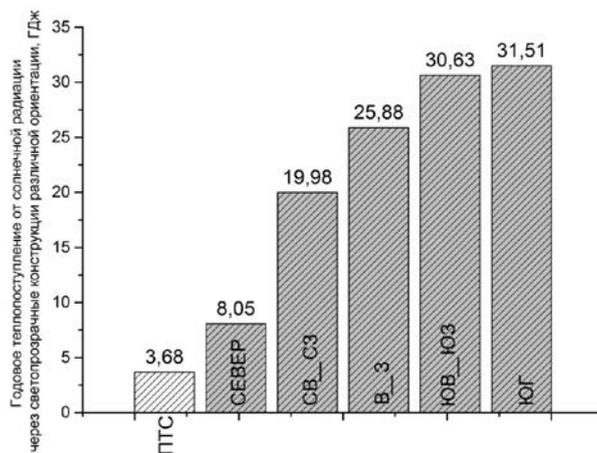


Рис. 4. Годовое теплоступление от солнечной радиации (ГДж) через светопроемы при КЕО=1,5%

Оценка тепловых потерь за отопительный период. На то, каковы будут основные потери теплоты Q_0 , Вт через ограждающие конструкции, влияет разность температур наружного и внутреннего воздуха, а также тепловое сопротивление этих конструкций. Их можно определить по формуле:

$$Q_0 = S_o \cdot \kappa \cdot (t - t_{cp}) \cdot n, \quad (2)$$

где κ – коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м²·°C); n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности по отношению к наружному воздуху [7,8].

Коэффициент теплопередачи ограждения обратно пропорционален приведенному сопротивлению теплопередаче R_0 :

$$\kappa = \frac{1}{R_0}$$

Показатель κ характеризует количество тепла, проходящее через один квадратный метр конструкции при разности температур по обе стороны в один градус за 1 час.

Рисунок 5 демонстрирует следующее: при применении ПТС общие теплотери за отопительный сезон оказываются в два раза выше при одинаковом остеклении. Это происходит по причине того, что у ПТС более низкое сопротивление теплопередаче.

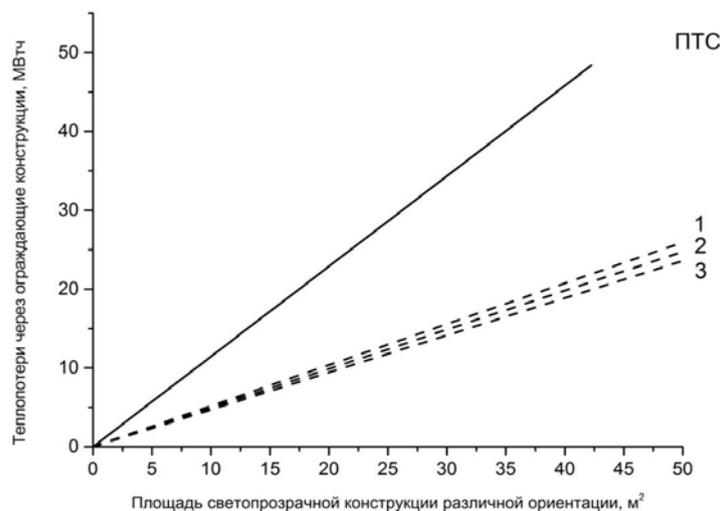


Рис. 5. Теплотери через светопрозрачные ограждения различной ориентации за отопительный период: 1 – южной ориентации; 2 – юго-восточной и юго-западной ориентации; 3 – северной, восточной и западной ориентации

Оценка капитальных затрат на совмещенное освещение. Затраты оценивались исходя из данных профессиональных организаций о стоимости одного светильника, а также стоимости монтажа и обслуживания осветительной установки. Также были учтены и стоимость установки конструкций и других компонентов.

Все итоги сводились к годовым, срок службы вертикальных светопроемов принимали равным 50 годам, а светопроемов на крыше – 30. Согласно предположению, оптические компоненты световодных систем следует заменить через 30 лет. Для систем искусственного освещения срок службы светильников принимался равным 20 года, поскольку была учтена стабильность характеристик ламп, равно как и затраты, сопряженный с их заменой.

Расчетным помещением является административное здание с графиком работы с 7 утра до 24 вечера (двухсменный режим) при нормированной освещенности 500лк. Размеры помещения – 10x10м при высоте потолка 3м.

Для искусственного освещения закладывались люминесцентные светильники 4x18Вт с ЭПРА (рис. 7).

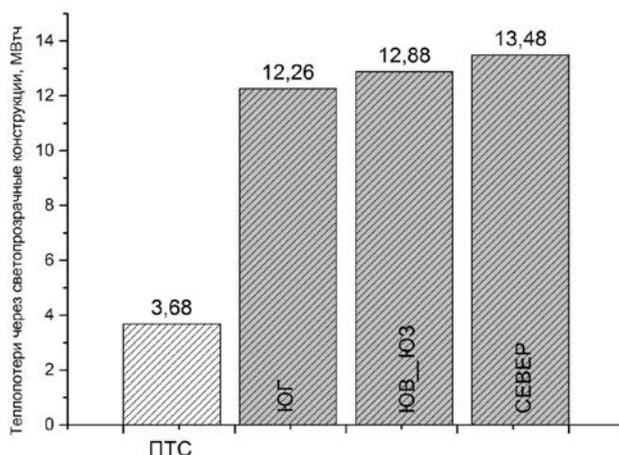


Рис. 6. Оценка тепловых потерь через ограждающие конструкции различной ориентации при КЕО=1,5%

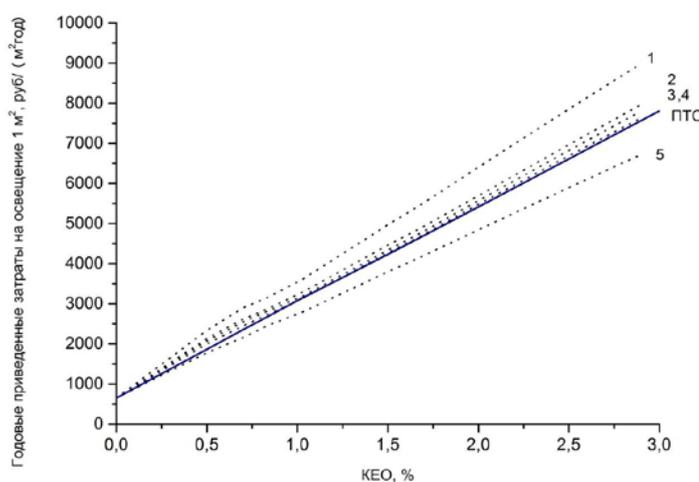


Рис. 7. Годовые приведенные затраты на освещение помещения: 1 – окна восточной и западной ориентации; 2 – южной; 3 – юго-восточной или юго-западной ориентации; 4 – северо-восточной или северо-западной; 5 – северной ориентации

Более высокими показали себя затраты на устройство и эксплуатацию оконных проемов 1-4 ориентации, причина заключается в том, что летом по причине большого теплопритока от солнечного излучения возрастают расходы на вентиляцию помещения.

Таким образом, можно заключить, что верхние световые проемы в качестве полых трубчатых световодов имеют высокую первоначальную стоимость, однако обладают лучшими теплофизическими параметрами, а эффективная транспортировка естественного света и его распределение по помещению, осуществленные ими, снижают годовые затраты на освещение.

Список литературы

1. Табунчиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 200 с.
2. СП 23-102-2003. Естественное освещение жилых и общественных зданий. М.: Госстрой России, 2005. 82 с.
3. Закгейм А.Л. Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья (обзор) // Светотехника. 2012. №6. С. 12-21.
4. Классификация трубчатых направляющих систем дневного освещения // Кровли. 2020. № 1. С. 2-9.
5. Коржнева Т.Г. Учет ресурса естественного света при оптимизации энергозатрат помещения / Т.Г. Коржнева, В.Я. Ушаков, А.Т. Овчаров // Вестник ТГАСУ. 2023. № 3(40). С.156-164.
6. Коржнева Т.Г. Анализ теплопотерь помещений через системы естественного освещения / Т.Г. Коржнева, В.Я. Ушаков, А.Т. Овчаров // Известия ТПУ, 2023. Т. 322. № 4. С. 56-60.
7. Кунгс Я.А., Фаермарк М.А. Экономия электрической энергии в осветительных установках. М.: Энергоатомиздат, 1984. 161 с.
8. Малявина Е.Г. Теплопотери здания: справочное пособие. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. 144 с.

Зайцев Виталий Андреевич, студент, support@pnzgu.ru, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет,

Минаков Евгений Иванович, д-р техн. наук, профессор, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Земцова Ольга Григорьевна, канд. техн. наук, доцент, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,

Елистратова Анна Григорьевна, старший преподаватель, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,

Лукьяновец Роман Павлович, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры, Россия, Пенза, Филиал Военной академии материально-технического обеспечения (г. Пенза)

ON THE ISSUE OF ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT MODERN NATURAL LIGHTING SYSTEMS

V.A. Zaitsev, O.G. Zemtsova, A.G. Elistratova, E.I. Minakov, R.P. Lukyanovets

A comparison was made between vertical lighting systems in rooms where the side openings are oriented to the cardinal directions, and horizontal lighting systems on the roof of the building. It is shown that light openings as hollow tubular light guides have a high initial cost, however, they have the best thermophysical parameters, and the efficient transportation of natural light and its distribution throughout the room, carried out by them, reduce annual lighting costs.

Key words: light guide, buildings, methodology, lighting, assessment.

Zaitsev Vitaly Andreevich, student, support@pnzgu.ru, Russia, Penza, Penza State University,

Minakov Evgeny Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Russia, Tula, Tula State University,

Zemtsova Olga Grigoryevna, candidate of technical sciences, docent, Russia, Penza, Penza State University,

Elistratova Anna Grigoryevna, senior lecturer, Russia, Penza, Penza State University,

Lukyanovets Roman Pavlovich, candidate of technical sciences, docent, head of the department, Russia, Penza, Branch of the Military Academy of Logistics (Penza)

УДК 621.3.079

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-324-325

АЛГОРИТМ РАБОТЫ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С СИНХРОННЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

И.Ф. Байбиков, А.В. Стариков, В.Н. Козловский, С.Л. Лисин

В статье рассматривается принцип построения следящего электропривода и алгоритм работы цифрового регулятора, которые обеспечивают высокое быстродействие при минимуме вычислительных затрат. Для реализации такого электропривода необходим только датчик положения ротора синхронного двигателя. Приведены аналитические выражения, отражающие все вычислительные процедуры, выполняемые цифровым регулятором. Показано, что для реализации предлагаемого алгоритма работы цифрового регулятора необходимо выполнить только 3 операции умножения в цикле управления электроприводом. Приведена дискретная передаточная функция следящего электропривода, полученная с учетом предлагаемого алгоритма функционирования цифрового регулятора. Приведены результаты вычислительных и натурных экспериментов, показывающие, что время переходного процесса в следящем электроприводе с синхронным двигателем и предлагаемым алгоритмом работы цифрового регулятора не превышает 0.064 с. Предложен способ дальнейшего увеличения быстродействия следящего электропривода.

Ключевые слова: цифровой регулятор, следящий электропривод, синхронный двигатель, алгоритм работы, дискретная передаточная функция.

Следящие электроприводы с синхронными двигателями находят широкое применение в прецизионных металлообрабатывающих станках и промышленных роботах. При этом необходимо отметить, что динамическая точность и производительность такого оборудования в основном определяется быстродействием электроприводов. Поэтому повышение быстродействия следящих электроприводов с синхронными двигателями является актуальной задачей.

В основе большинства следящих электроприводов с синхронным исполнительным двигателем используются системы векторного управления [1, 2]. Однако эти системы обладают низким быстродействием и требуют больших вычислительных затрат при технической реализации на базе микроконтроллера. Действительно, в системах векторного управления необходимо выполнять преобразования Парка и Кларка. Кроме того, как правило, в современных частотных преобразователях, предназначенных для управления синхронным двигателем, используются векторные широтно-импульсные модуляторы, требующие вычисления синусов и выполнения большого количества операций умножения и деления на каждом периоде модуляции [3]. Также находят применение системы прямого управления моментом синхронного двигателя [4]. Однако такие системы отличаются большими пульсациями момента двигателя.

Поэтому поиск путей минимизации вычислительных процедур при технической реализации следящего электропривода является также актуальной задачей, поскольку позволяет наращивать функциональные возможности электропривода при одной и той же вычислительной мощности микроконтроллера.

Кроме того, системы векторного управления имеют в своей структуре контуры регулирования токов, что требует применения датчиков фазных токов и усложняет техническую реализацию следящего электропривода. Следовательно, поиск структурного построения следящего электропривода с синхронным двигателем без контуров регулирования токов также актуален.

Все перечисленные задачи требуют как структурного, так алгоритмического решения. Поэтому целью настоящей статьи является разработка алгоритма работы цифрового регулятора, позволяющего создать быстродействующий следящий электропривод с синхронным двигателем с минимальными затратами вычислительной мощности микроконтроллера.

Функциональная схема следящего электропривода с синхронным двигателем и алгоритм работы цифрового регулятора. Для создания быстродействующего следящего электропривода и минимизации вычислительных затрат микроконтроллера предлагается взять за основу систему, использующую для управления синхронным двигателем только датчик положения [5]. На рис. 1 представлена функциональная схема такого следящего электропривода. Она содержит собственно синхронный двигатель с постоянными магнитами M , датчик положения ротора ДП, цифровой регулятор и преобразователь частоты ПЧ.

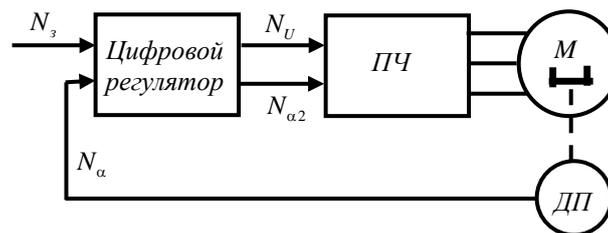


Рис. 1. Функциональная схема следящего электропривода с синхронным двигателем

Для простоты рассмотрим именно такую систему, замкнутую только по сигналу N_α датчика углового положения ротора, отсчитываемого от отрицательного направления оси обмотки A синхронного двигателя. Предположим также, что частотный преобразователь формирует на статорных обмотках трехфазную систему напряжений по сигналам N_U и $N_{\alpha 2}$, поступающим с цифрового регулятора. Следует отметить, что здесь под N_U подразумевается сигнал, определяющий амплитуду вектора напряжения, а $N_{\alpha 2}$ – угол поворота этого вектора в неподвижной системе координат.

Для обеспечения большого быстродействия следящего электропривода предлагается следующий алгоритм работы цифрового регулятора, приведенный на рис. 2. Исходными данными для функционирования регулятора являются период квантования по времени T , коэффициент, характеризующий постоянную времени интегрирования

$k_{11} = \frac{T}{T_u}$, величина плавающего ограничения N_{no} , коэффициенты передачи k_n и k_{nd} , коэффициенты дифферен-

цирования $k_{22} = \frac{k_{occ}}{T}$ и $k_{33} = \frac{T_{nd}}{T}$, приведенная величина ограничения тока N_{IR} , коэффициенты пересчета k_E ,

k_{np} и $k_{кон}$. Здесь приняты следующие обозначения: T_u – постоянная времени интегрирования, k_{occ} – коэффициент обратной связи по скорости, T_{nd} – постоянная времени пропорционально-дифференциального звена.

При запуске следящего электропривода промежуточным операндам процесса вычисления, таким как номер такта вычисления i , выходная величина интегратора N_u , рассогласования ε_2 и ε_3 и условное время расчета t присваиваются нулевые значения. Затем в цикле управления электроприводом с периодом T номеру такта вычисления присваивается следующее значение $i = i + 1$ и определяется время, при котором начинается цикл вычислений $t[i] = iT$. При достижении условным временем этого значения цифровой регулятор производит последовательное вычисление следующих операндов

$$\varepsilon_1[i] = N_3[i] - N_\alpha[i], \quad N_u[i] = N_u[i-1] + k_{11}\varepsilon_1[i],$$

где $N_3[i]$ – заданная величина перемещения (угла поворота).

Затем идет проверка условий

$$N_u[i] \geq N_3[i] + N_{no}; \tag{1}$$

$$N_u[i] \leq N_3[i] - N_{no}. \tag{2}$$

Если выполняется неравенство (1), то промежуточной переменной вычислений N_{u2} присваивается значение

$$N_{u2}[i] = N_3[i] + N_{no}.$$

Если выполняется неравенство (2), то величина N_{u2} принимается равной

$$N_{u2}[i] = N_{\alpha}[i] - N_{no}.$$

В случае невыполнения условий (1) и (2) текущее значение операнда N_{u2} становится равным

$$N_{u2}[i] = N_u[i].$$

Затем цифровой регулятор производит последовательное вычисление промежуточных переменных

$$\begin{aligned} \varepsilon_2[i] &= N_{u2}[i] - N_{\alpha}[i]; N_n[i] = k_n \varepsilon_2[i]; N_{\omega}[i] = k_{22} \{N_{\alpha}[i] - N_{\alpha}[i-1]\}; \varepsilon_3[i] = N_n[i] - N_{\omega}[i]; \\ N_{\delta}[i] &= k_{33} \{\varepsilon_3[i] - \varepsilon_3[i-1]\}; N_{no}[i] = \{N_{\delta}[i] + \varepsilon_3[i]\} k_{no}; N_E[i] = k_E N_{\omega}[i]. \end{aligned}$$

На следующем этапе работы цифрового регулятора производится проверка условий

$$N_{no}[i] \geq N_E[i] + N_{IR}, \tag{3}$$

$$N_{no}[i] \leq N_E[i] - N_{IR}. \tag{4}$$

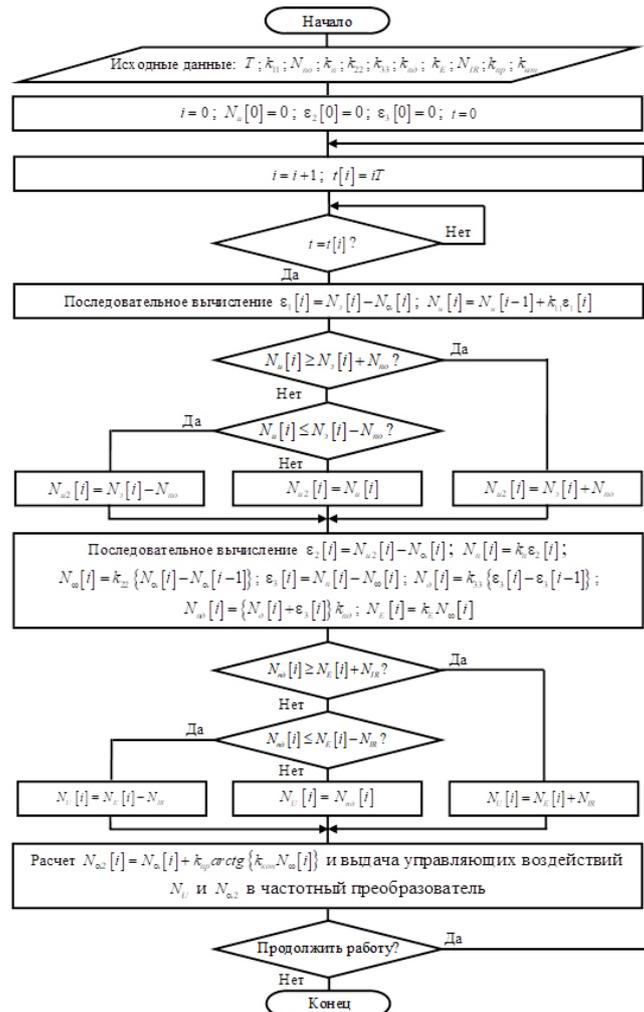


Рис. 2. Алгоритм работы цифрового регулятора

Если выполняется условие (3), то выходная величина цифрового регулятора N_U принимается равной

$$N_U[i] = N_E[i] + N_{IR}.$$

В случае выполнения неравенства (4) выходному сигналу N_U присваивается значение

$$N_U[i] = N_E[i] - N_{IR}.$$

Если условия (3) и (4) не выполняются, то текущее значение N_U становится равным

$$N_U[i] = N_{no}[i].$$

В конце цикла работы цифровой регулятор вычисляет цифровой код $N_{\alpha 2}$, соответствующий необходимому углу поворота вектора напряжения в неподвижной системе координат

$$N_{\alpha 2}[i] = N_{\alpha}[i] + k_{np} \operatorname{arctg} \left\{ k_{кон} N_{\omega}[i] \right\}, \quad (5)$$

и величины $N_U[i]$ и $N_{\alpha 2}[i]$ передаются в частотный преобразователь. Если нет команды на отключение электропривода и не сработали никакие защиты, то принимается решение продолжить работу, и через интервал времени T начинается новый цикл расчета выходных величин цифрового регулятора.

Проверка условий (1) и (2) и выбор соответствующей величины N_{u2} при правильно заданных значениях k_{11} , k_n , k_{22} и k_{33} обеспечивает устойчивость следящего электропривода с синхронным двигателем во всем возможном диапазоне перемещений и скоростей. Выбор величины N_U с учетом выполнения условий (3) и (4) обеспечивает ограничение тока в статорных обмотках синхронного двигателя. Выдача в частотный преобразователь величины $N_{\alpha 2}$, рассчитанной по формуле (5), обеспечивает компенсацию инерционности обмоток статора и максимальный необходимый момент двигателя.

Результаты компьютерного моделирования и натуральных экспериментов. Представленный алгоритм работы цифрового регулятора позволяет достичь большого быстродействия следящего электропривода с синхронным двигателем при значительной простоте технической реализации. Действительно, дискретная передаточная функция такого электропривода имеет вид [6]

$$W(z) = \frac{\alpha(z)}{N_3(z)} = \frac{b_{05}z^5 + b_{15}z^4 + b_{25}z^3 + b_{35}z^2}{z^6 + a_{15}z^5 + a_{25}z^4 + a_{35}z^3 + a_{45}z^2 + a_{55}z + a_{65}}, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} b_{05} &= \frac{k_2 a(T_{nd} + T)}{k_{он} T_u}; \quad b_{15} = \frac{k_2}{k_{он} T_u} [(b-a)T_{nd} + bT]; \quad b_{25} = -\frac{k_2}{k_{он} T_u} [(b-c)T_{nd} - cT]; \\ b_{35} &= -\frac{k_2 c T_{nd}}{k_{он} T_u}; \quad a_{15} = -\left[2 + 2d \cos \beta T - \frac{(k_1 + k_2 T) a(T_{nd} + T)}{T^2} - \frac{k_2 a(T_{nd} + T)}{T_u} \right]; \\ a_{25} &= 1 + d^2 + 4d \cos \beta T + \frac{k_1 [(b-3a)T_{nd} + (b-2a)T]}{T^2} + \frac{k_2 [(b-2a)T_{nd} + (b-a)T]}{T} + \\ &+ \frac{k_2 [(b-a)T_{nd} + bT]}{T_u}; \\ a_{35} &= -\left\{ 2d^2 + 2d \cos \beta T + \frac{k_1 [(3b-3a-c)T_{nd} + (2b-a-c)T]}{T^2} + \right. \\ &\left. + \frac{k_2 [(2b-a-c)T_{nd} + (b-c)T]}{T} + \frac{k_2 [(b-c)T_{nd} - cT]}{T_u} \right\}; \\ a_{45} &= d^2 + \frac{k_1 [(3b-a-3c)T_{nd} + (b-2c)T]}{T^2} + \frac{k_2 [(b-2c)T_{nd} - cT]}{T} - \frac{k_2 c T_{nd}}{T_u}; \\ a_{55} &= -\left\{ \frac{k_1 [(b-3c)T_{nd} - cT]}{T^2} - \frac{k_2 c T_{nd}}{T} \right\}; \quad a_{65} = -\frac{k_1 c T_{nd}}{T^2}; \\ a &= T - 2\xi_{\kappa} T_{\kappa} (1 - d \cos \beta T) - \frac{1 - 2\xi_{\kappa}^2}{\beta} d \sin \beta T; \quad d = e^{-\frac{\xi_{\kappa} T}{T_{\kappa}}}; \quad \beta = \sqrt{1 - \xi_{\kappa}^2}; \\ b &= 2 \left[\xi_{\kappa} T_{\kappa} (1 - d^2) + \frac{1 - 2\xi_{\kappa}^2}{\beta} d \sin \beta T - T d \cos \beta T \right]; \\ c &= T d^2 + 2\xi_{\kappa} T_{\kappa} (d^2 - d \cos \beta T) - \frac{1 - 2\xi_{\kappa}^2}{\beta} d \sin \beta T; \quad k_1 = k_{nd} k_{cn} k_{\omega} k_{occ} k_{\omega n}; \end{aligned}$$

$$k_2 = k_n k_{nd} k_{cn} k_{\omega} k_{\omega n}; \quad k_{\omega} - \text{коэффициент передачи синхронного двигателя}; \quad T_{\kappa} = \sqrt{\frac{2J_{np} L_1}{m_1 Z_n \Psi_p^2}}; \quad \xi_{\kappa} = \sqrt{\frac{J_{np} R_1}{2}}; \quad J_{np} \text{ и}$$

Ψ_p – приведенный момент инерции и потокосцепление ротора; m_1 и Z_n – число фаз и пар полюсов двигателя; L_1 и R_1 – индуктивность и активное сопротивление фазы обмотки статора; k_{cn} – коэффициент передачи частотного преобразователя по напряжению; $k_{\omega n}$ – коэффициент передачи датчика положения ротора.

Если для синхронного двигателя 1FK7060-5AF71, оснащенного датчиком положения ротора с 2048 импульсами на оборот, выбрать $T_u = 0,0128$ с, $k_n = 4$, $k_{occ} = 0,0128$ с, $k_{nd} = 2$, $T_{nd} = 0,1011$ с, то при коэффициенте передачи частотного преобразователя $k_{cn} = 0,0067$ В/дискрета и периоде дискретизации $T = 0,0016$

с дискретная передаточная функция (6) примет следующие численные значения

$$W(z) = \frac{0,004477z^5 + 0,012798z^4 - 0,012797z^3 - 0,004075z^2}{z^6 - 3,71868z^5 + 5,65701z^4 - 4,30067z^3 + 1,46971z^2 - 0,04176z - 0,0652}. \quad (7)$$

По передаточной функции (7) построен график переходного процесс на 23 дискреты датчика положения. На рис. 3 представлен этот график, который показывает, что время переходного процесса равно $t_m = 0,04$ с, а перерегулирование составляет $\sigma = 0,98\%$.

Следует обратить внимание, что в следящем электроприводе с синхронным двигателем и предложенным алгоритмом работы цифрового регулятором по расчетам наблюдается большое быстродействие. Причем это достигается простейшими средствами. Действительно, при расчете выходных величин цифрового регулятора $N_U[i]$ и $N_{\alpha 2}[i]$ используется всего 8 операций умножения и 1 операция вычисления арктангенса. При этом отпадает необходимость в цикле управления следящим электроприводом использовать сигналы фазных токов и производить преобразования Парка и Кларка. Кроме того, методика параметрического синтеза рассматриваемого цифрового регулятора [7] предусматривает возможность использования значений коэффициентов $k_{11}, k_n, k_{22}; k_{33}$ и k_{no} , кратных двум, что позволяет вместо соответствующих операций умножения использовать операции сдвига. Следует также отметить, что величину арктангенса можно не вычислять, а выбирать значения из таблицы.

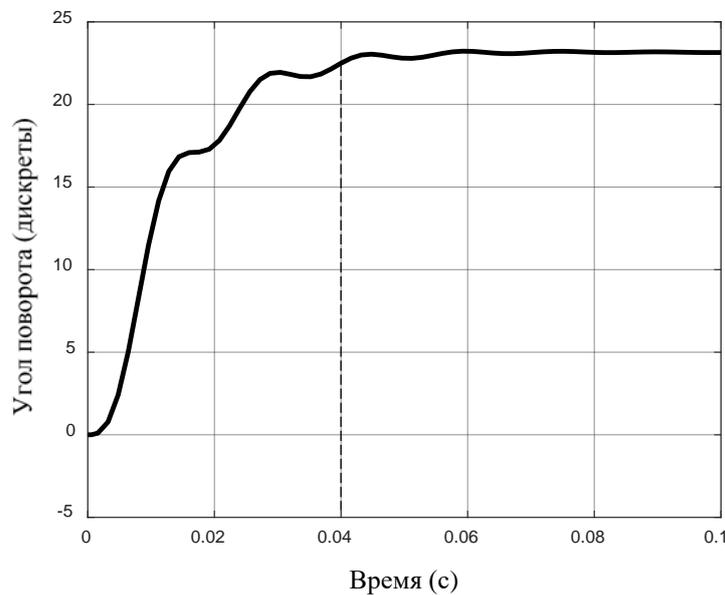


Рис. 3. График переходного процесса в цифровом следящем электроприводе

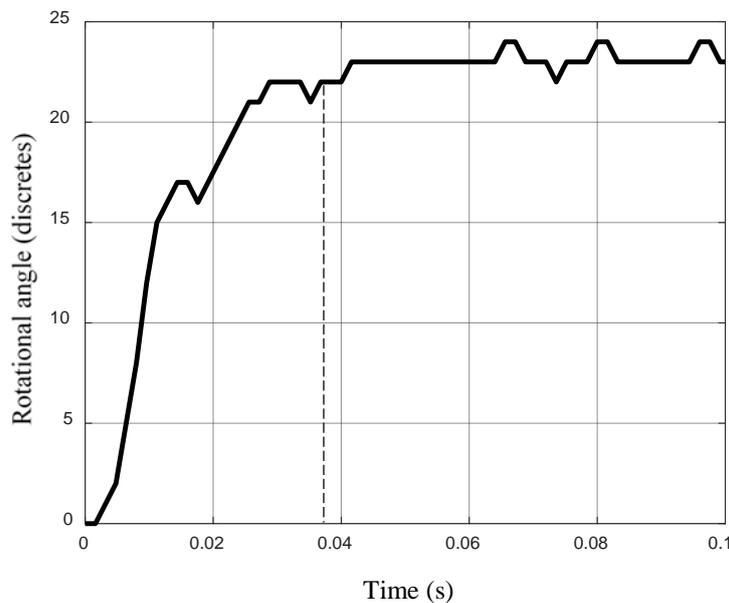


Рис. 4. График переходного процесса в цифровом следящем электроприводе с учетом квантования по уровню

С учетом дискретизации по уровню переходный процесс в рассматриваемом цифровом следящем электроприводе примет вид, приведенный на рис. 4. Время входа в зону ± 1 дискрета от заданного значения составляет $t_{mn} = 0,037$ с, что опять же подтверждает высокое быстродействие следящего электропривода с разработанным алгоритмом функционирования цифрового регулятора.

Также подтверждает высокое быстродействие следящего электропривода результат натурального эксперимента, проведенного на поворотном столе, оснащенный синхронным двигателем 1FK7060-5AF71 и частотным преобразователем Simvert Masterdrives MC.

С помощью ВСО-технологии программирования были отключены стандартные регуляторы системы векторного управления следящего электропривода Simvert Masterdrives MC и использованы свободные функциональные блоки, позволяющие реализовать рассмотренный цифровой регулятор. График, полученный в ходе эксперимента и приведенный на рис. 5, показывает, что фактическое время в зону ± 1 дискрета от заданного значения равно $t_{mn} = 0,064$ с.

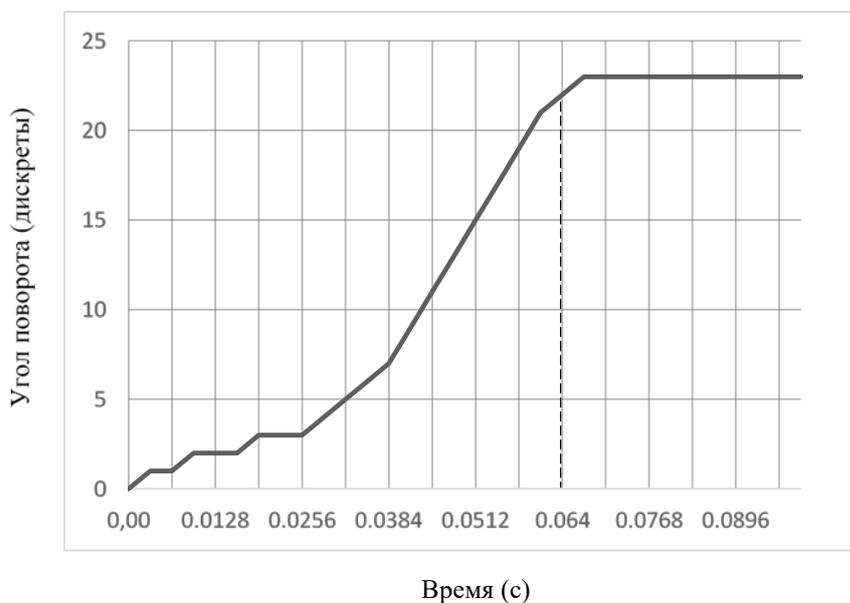


Рис. 5. График переходного процесса в цифровом следящем электроприводе, полученный в ходе эксперимента

Эта величина почти в 2 раза больше расчетной. Однако, увеличение времени переходного процесса объясняется тем, что в ходе эксперимента на этапах разгона и торможения вступало в действие ограничение тока, снижающее величину напряжения на статорных обмотках синхронного двигателя. Тем не менее, полученные результаты убедительно показывают, что предложенный алгоритм работы цифрового регулятора позволяет создать быстродействующий следящий электропривод с синхронным исполнительным двигателем с минимальными вычислительными затратами микроконтроллера.

Полученное время переходного процесса не является предельным. Достичь еще большего быстродействия в следящем электроприводе с синхронным двигателем можно, применив разные периоды дискретизации при вычислении отдельных составляющих закона регулирования. Действительно, при малых значениях периода T вычисление производных можно производить один раз в два или в четыре такта, что позволит снизить величины коэффициентов k_{22} и k_{33} . Это позволяет уменьшить противоречие между дискретизацией по уровню и ограничениями сигналов в электроприводе.

Выводы:

1. Разработанный алгоритм работы цифрового регулятора позволяет создать следящий электропривод с синхронным двигателем, отличающийся высоким быстродействием при отработке управляющих и возмущающих воздействий.
2. Предлагаемое структурное построение следящего электропривода с синхронным двигателем не требует применения контуров тока и преобразований Парка и Кларка.
3. Дальнейшее увеличение быстродействия следящего электропривода можно достичь, применив разные периоды дискретизации при вычислении отдельных составляющих закона регулирования.

Список литературы

1. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; Под ред. В. М. Терехова. М.: Издательский центр «Академик», 2005. 304 с.
2. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. М.: Машиностроение, 1990. 304 с.
3. Калачев Ю.Н. Векторное регулирование (заметки практика). М.: ЭФО, 2013. 63 с.
4. Чуприна Н.В., Пугачев А.А. Система прямого управления моментом тягового синхронного двигателя с постоянными магнитами с минимизацией потерь мощности // Интеллектуальная электротехника № 4, 2022. С. 23 – 37.
5. Патент России № 2695804. Следящий электропривод с синхронным исполнительным двигателем / С.Л. Лисин, А.В. Стариков (Россия) // Оpubл. 29.07.2019, Бюл. № 22.

6. Лисин С.Л., Стариков А.В. Дискретная математическая модель цифрового следящего электропривода с синхронным исполнительным двигателем // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», № 1 (37), 2013. С. 203 – 208.

7. Стариков А.В., Лисин С.Л. Параметрический синтез регуляторов быстродействующего следящего электропривода с синхронным исполнительным двигателем // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014: в 2 т. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. Т.1, С. 283 – 287.

Байбиков Ильгиз Фяритович, аспирант, baibikovif@ioes.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Стариков Александр Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, star58@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Козловский Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Лисин Сергей Леонидович, канд. техн. наук, доцент, lisin@samgtu.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет

ALGORITHM OF OPERATION OF THE DIGITAL CONTROLLER OF THE HIGH-SPEED RESPONSE SERVO DRIVE WITH THE SYNCHRONOUS MOTOR

I.F. Baybikov, A.V. Starikov, V.N. Kozlovsky, S.L. Lisin

The article discusses the principle of building a servo drive and the algorithm of the digital controller, which provide high-speed response with a minimum of computational costs. To implement such an electric drive, only a rotor position sensor of the synchronous motor is needed. Analytical expressions are given that reflect all the computational procedures performed by the digital controller. It is shown that in order to implement the proposed algorithm for the operation of a digital controller, it is necessary to perform only 3 multiplication operations in the drive control cycle. The discrete transfer function of the servo drive, taking into account the proposed algorithm for the operation of the digital controller, is given. The results of computational and full-scale experiments are presented, showing that the time of the transient process in a servo drive with the synchronous motor and the proposed algorithm for the operation of the digital controller does not exceed 0.064 s. A method for further increasing the speed response of the servo drive is proposed.

Key words: digital controller, servo drive, synchronous motor, operation algorithm, discrete transfer function.

Baybikov Ilgiz Fyaritovich, postgraduate, baibikovif@ioes.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Starikov Alexander Vladimirovich, doctor of engineering. sciences, professor, head of department, star58@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Kozlovsky Vladimir Nikolaevich, doctor of engineering. sciences, professor, head of department, Kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Lisin Sergey Leonidovich, candidate of technical sciences, docent, lisin@samgtu.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССИВНО-АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА ВЫСШИХ ГАРМОНИК В СИСТЕМЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Д.Ю. Шакиров, Т.Х. Мухаметгалеев

Частотно-регулируемый электропривод может являться источником высших гармоник, которые негативно влияют на электрическую сеть. Высшие гармоники возникают в результате подключения к электрической сети потребителей с нелинейной нагрузкой, каким и является преобразователь частоты. Влияние высших гармоник тока и напряжения на питающую электросеть можно уменьшить с помощью пассивного фильтра высших гармоник, главным преимуществом которого является невысокая стоимость. Однако пассивный фильтр может выйти из строя при протекании через него тока выше допустимого. Для исключения данного недостатка предлагается использовать пассивно-адаптивный фильтр высших гармоник. В данной статье представлена модель пассивно-адаптивного фильтра в системе частотно-регулируемого электропривода, показаны результаты исследования и сделан вывод.

Ключевые слова: высшие гармоники, пассивно-адаптивный фильтр высших гармоник, частотно-регулируемый электропривод, преобразователь частоты, асинхронный электродвигатель.

Современные промышленные предприятия характеризуются интенсивным применением частотно-регулируемых электроприводов. Применение частотно-регулируемых электроприводов является одним из эффективных методов энергосбережения, однако преобразователь частоты, который входит в его состав, часто является источником гармонических составляющих тока и напряжения. Это носит негативный характер, так как высшие гармоники тока и напряжения негативно влияют на электрическую сеть и на остальные электроприемники, подключенные к этой электрической сети. Как правило, это бывает, когда мощность питающего трансформатора соизмерима с мощностью электропривода.

Высшие гармоники возникают в результате подключения к электрической сети потребителей с нелинейной нагрузкой, каким является и частотно-регулируемый электропривод. Это обуславливается наличием в составе преобразователя частоты нелинейных элементов: диодов, тиристоров, транзисторов и так далее [1, 2, 3].

Для определения состава высших гармонических составляющих тока и напряжения, генерируемых нелинейной нагрузкой в питающую сеть, можно использовать быстрое преобразование (анализ) Фурье. Обычно под быстрым преобразованием Фурье понимается один из алгоритмов, называемый алгоритмом прореживания по частоте – времени [4]. Данный анализ показывает наличие широкого спектра гармоник различного порядка, которые и называют высшими гармониками тока и напряжения.

Влияние высших гармоник тока и напряжения на питающую электросеть можно уменьшить с помощью фильтрокомпенсирующих устройств. Наиболее часто используют пассивные фильтры высших гармоник, которые состоят из неактивных элементов, таких как индуктивность, емкость и активное сопротивление. Такие фильтры могут быть установлены для компенсации высших гармоник тока от протекания в питающую сеть, если нелинейная нагрузка локально вызывает существенные искажения гармонического состава [5, 6, 7].

Главным преимуществом пассивных фильтров является их относительно невысокая стоимость. Однако пассивный фильтр может выйти из строя при протекании через него тока выше допустимого, на который рассчитан данный фильтр [8]. Это может произойти при увеличении нелинейной нагрузки, например, при подключении дополнительного частотно регулируемого электропривода в сеть, или при подключении дополнительных электродвигателей на выход многодвигательного частотного привода [9, 10].

В представленной работе разработана модель пассивно-адаптивного фильтра высших гармоник в системе «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором» в программно пакете LTspice, приведены результаты моделирования и сделаны выводы.

Исследование. Исследования основывались на теории основ электротехники, силовых полупроводниковых преобразователей, электрических машин и моделировании электроприводов. Экспериментальные исследования проводились в программном пакете LTspice. На рис. 1 представлена схема модели пассивно-адаптивного фильтра высших гармоник в системе «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором», которая состоит из моделей: трехфазного питающего трансформатора, трансформатора тока, пассивно-адаптивных фильтров высших гармоник, преобразователя частоты, асинхронных электродвигателей.

Пассивно-адаптивный фильтр высших гармоник на рис. 2 настроен на номинальную резонансную частоту пятой гармоники 250 Гц. Примем допущение, что ток, протекающий через элементы фильтра, не должен превышать 20 А.

При увеличении тока через фильтр высших гармоник трансформатор тока сигнализирует, что ток превышает допустимые значения. Далее фильтр с помощью ключей SW1, SW2 и SW3 меняет свою резонансную частоту, рассчитанную на 250 Гц, на новую резонансную частоту 243 Гц, тем самым, снижая величину тока, протекающего через фильтр до допустимых значений.

На рис. 3 можно увидеть, что ток, протекающий через фильтр, настроенный на 250 Гц, в начальном режиме электропривода (работает один электродвигатель) составляет 17,716 А.

С помощью анализа Фурье можно определить амплитуду гармоники пятого порядка. На рис. 4 показан анализ Фурье по току на входе преобразователя частоты, из которого видно, что пассивно адаптивный фильтр эффективно подавил гармоническую составляющую пятого порядка.

В режиме дополнительной нагрузки (работают два электродвигателя) ток, протекающий через пассивно-адаптивный фильтр, может значительно превышать допустимое значение 20 А. На рис. 5 можно увидеть, что ток протекающий через фильтр, в режиме дополнительной нагрузки (работает два электродвигателя), если не изменять его резонансную частоту 250 Гц, составляет 28,629 А.. Это значительно превышает допустимое значение 20 А. и может привести к выходу из строя элементов фильтра.

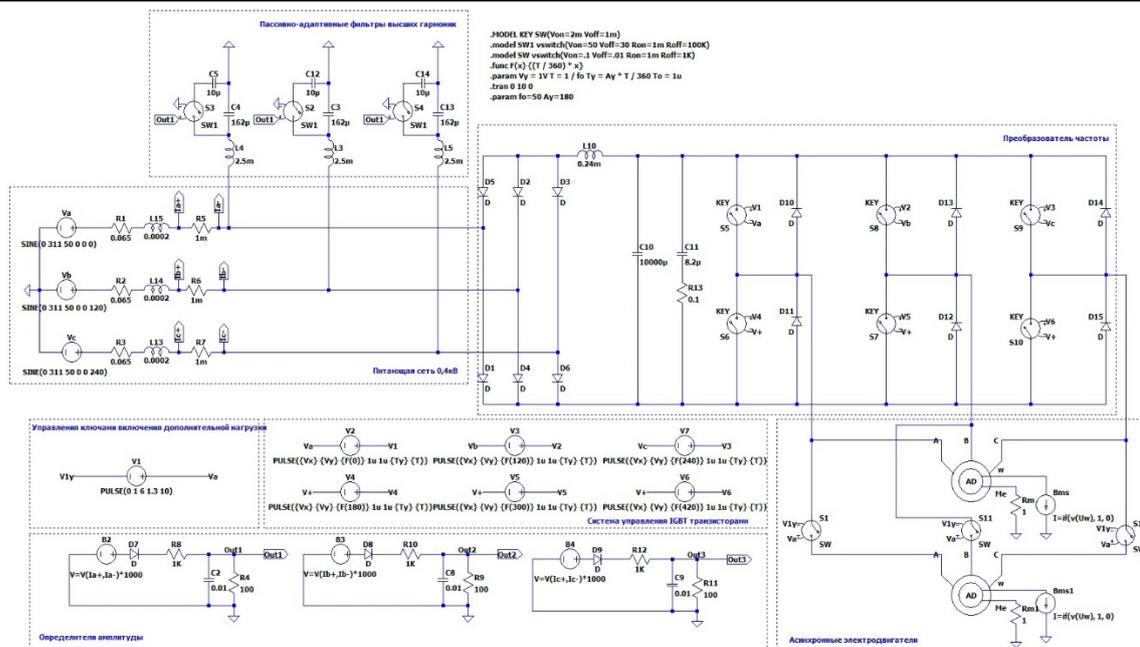


Рис. 1. Схема модели пассивно-адаптивного фильтра высших гармоник в системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» в программном пакете LTspice

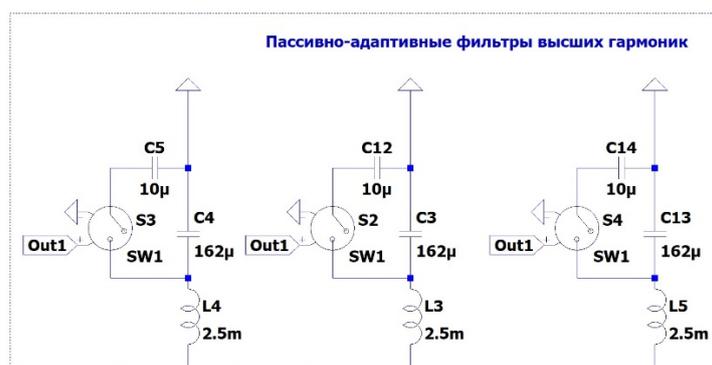


Рис. 2. Модель пассивно-адаптивного фильтра высших гармоник в программном пакете LTspice

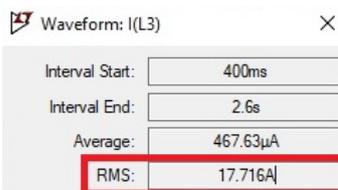


Рис. 3. Окно значений действующего тока, протекающего через пассивно-адаптивный фильтр высших гармоник, настроенный на 250 Гц, в начальном режиме в программном пакете LTspice

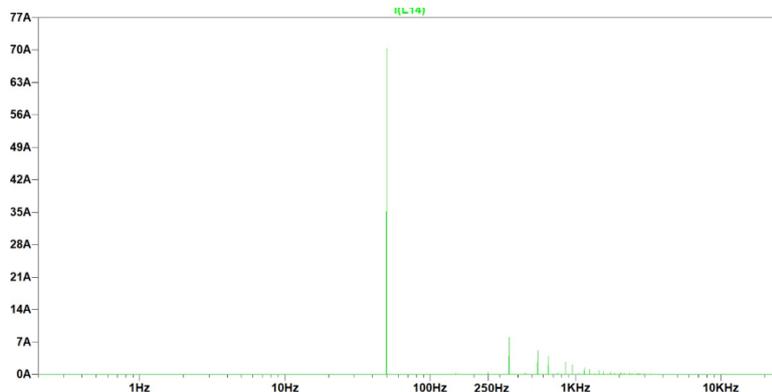


Рис. 4. Анализ Фурье по току при использовании пассивно-адаптивного фильтра высших гармоник, настроенного на 250 Гц, в начальном режиме в программном пакете LTspice

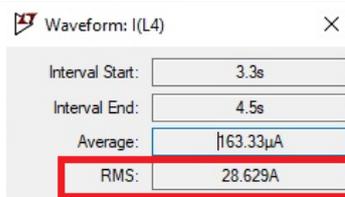


Рис. 5. Окно значений действующего тока, протекающего через пассивно-адаптивный фильтр высших гармоник, в режиме дополнительной нагрузки при резонансной частоте фильтра 250 Гц в программном пакете LTspice

Возрастание тока через пассивно-адаптивный фильтр выше уставки срабатывания приведет к тому, что сработают ключи SW1, SW2 и SW3, и пассивно-адаптивный фильтр изменит свою резонансную частоту, рассчитанную на 250 Гц, на новую резонансную частоту 243 Гц. На рис. 6 и рис. 7 можно увидеть, что при этом гармоническая составляющая пятого порядка подавляется хуже, амплитуда пятой гармоники тока в сети составляет 10 А. Однако ток, протекающий через пассивно-адаптивный, фильтр не превышает 20 А. и составляет 19,255 А.

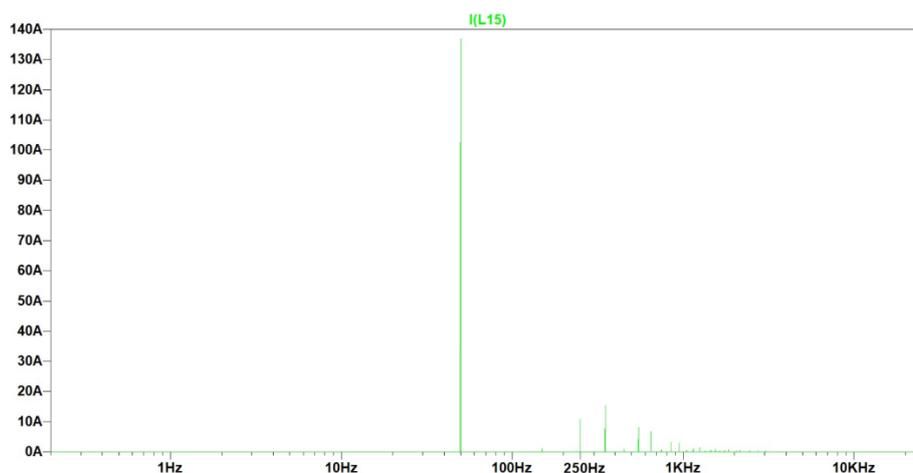


Рис. 6. Анализ Фурье по току при использовании пассивно-адаптивного фильтра высших гармоник в режиме дополнительной нагрузки при резонансной частоте фильтра 243 Гц в программном пакете LTspice

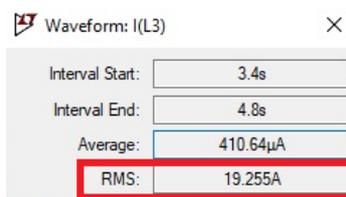


Рис. 7. Окно значений действующего тока, протекающего, через пассивно-адаптивный фильтр высших гармоник в режиме дополнительной нагрузки при резонансной частоте фильтра 243 Гц в программном пакете LTspice

Вывод. Таким образом, можно сделать вывод, что преобразователь частоты может являться источником высших гармонических составляющих тока и напряжений в питающую электрическую сеть. Для их подавления можно использовать пассивные фильтрокомпенсирующие устройства, ослабляющие уровень высших гармоник.

Пассивные фильтры простые по исполнению, имеют низкую стоимость, однако могут выйти из строя при увеличении тока на элементах фильтра. Это может произойти при изменении нелинейной нагрузки в системе, например, при подключении дополнительно электродвигателя к многодвигательному частотно-регулируемому электроприводу. Для исключения данного недостатка пассивного фильтра предлагается использовать пассивно-адаптивный фильтр высших гармоник, который по сигналу от трансформатора тока меняет свою резонансную частоту, тем самым «уходит» от токов, которые могут вывести из строя сам фильтр.

Список литературы

1. Попов И. И., Сидорова В. Т., Орлов А. И. Основы энергетической электроники. Йошкар-Ола, 2013г. 26 с.
2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Стандартинформ, Москва, 2006. 33 с.
3. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. Москва: Энергоатомиздат, 2010. 375 с.
4. Nussbaumer, Henri J. Fast Fourier transform and convolution algorithms. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1931. P. 54-71.

5. Шакиров Д.Ю., Мухаметгалеев Т.Х., Цвенгер И.Г. Подавление высших гармоник в сетях промышленных предприятий при изменении нагрузки в частотно-регулируемых электроприводах // Молодой исследователь 2023. Сб. науч. ст. III международной научно-практической конференции, 2023. 65 с.
6. Шипулина У.Н., Мухаметгалеев Т.Х., Сидоров С.С., Мухаметов Г.М. Модель частотно-регулируемого электропривода в программном пакете Matlab // Вестник технологического университета, Казань, 2021. Т. 24. №5. С. 78-81.
7. Веселова Н.М., Иванов А.С., Иванова О.А., Кузнецова Т.А. Влияние частотных преобразователей насосных и вентиляционных установок на работу сети внутреннего электроснабжения предприятия // Инженерный вестник Дона, 2022, №3 [Электронный ресурс] URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7535> (дата обращения: 10.02.2024).
8. Akagi H. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning / H. Akagi, E.H. Watanabe, M. Aredes // IEEE Press Editorial Board, 2007. 400 p.
9. Тихомиров В.А. Сравнительный анализ гармонического состава сетевого тока управляемых выпрямителей и преобразователей частоты. Нижний Новгород, С. 204-215.
10. Титов В.Г., Плехов А.С., Бинда К.А. Управление энергосберегающими полупроводниковыми преобразователями // «Инженерный вестник Дона», 2013. №4. [Электронный ресурс] URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1909> (дата обращения: 10.02.2024).

Шакиров Дамир Юнусович, магистрант, s4akirov@yandex.ru, Россия, Казань, Казанский национальный исследовательский технологический университет,

Мухаметгалеев Танир Хамитевич, канд. техн. наук, доцент, banzay-13-13@yandex.ru, Россия, Казань, Казанский государственный энергетический университет

MODELING OF A PASSIVE-ADAPTIVE HIGHER HARMONICS FILTER IN A FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE SYSTEM

D.YU. Shakirov, T.KH. Mukhametgaleyev

A frequency-controlled electric drive produces higher harmonics, which negatively affect the electrical network. These harmonics arise when consumers are connected to the electrical grid through a nonlinear load, such as a frequency converter. The influence of these higher harmonics on the power supply system can be reduced through the use of a passive higher-harmonics filter. The main advantage of this approach is its low cost. However, a passive filter might fail if the current passing through it exceeds a certain level. To eliminate this limitation, it is suggested to use a passive, adaptive higher-harmonics filter instead. This article will present a model for a passive adaptive filter in the context of a frequency-controlled electric-drive system. The results of this study will be discussed, and conclusions drawn.

Key words: higher harmonics, passive adaptive higher harmonics filter, frequency-controlled electric drive, frequency converter, asynchronous electric motor

Shakirov Damir Yunusovich, undergraduate, s4akirov@yandex.ru, Russia, Kazan, Kazan National Research Technological University,

Mukhametgaleyev Tanir Khamitevich, candidate of technical science, docent, banzay-13-13@yandex.ru, Russia, Kazan, Kazan State Energy University

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ АКТИВНОЙ ЧАСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

О.В. Архипова, В.З. Ковалев, Р.В. Сайфуллин

Современное построение структуры электроэнергетических систем основывается на принципах обеспечения запаса мощности, наличия маневрового фонда силового оборудования и способности к расширению потребления электроэнергии. Однако, несмотря на это, актуальной проблемой остается обеспечение качественного и надежного электроснабжения, особенно в контексте эксплуатации силовых трансформаторов (СТ). В России эксплуатируется огромное количество СТ, и их отказы могут привести к серьезным финансовым потерям и нарушениям в электроснабжении. Особенности отказов являются проблемы с активной частью трансформаторов, особенно витковые замыкания обмоток. Для решения этой проблемы предлагается создание системы диагностики и мониторинга силовых трансформаторов, сосредоточенной на диагностике активной части, в частности, витковых замыканий. Методы мониторинга и диагностики включают химический анализ масла, тепловые характеристики, вибрационные и акустические параметры, а также современные методы обработки данных и реакцию на электромагнитные воздействия. Эти методы, включая мониторинг электрических величин, представляют собой эффективные средства раннего обнаружения дефектов трансформаторов, позволяя предотвратить серьезные аварии и минимизировать финансовые потери.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, трансформаторы, надежность, отказы, диагностика, мониторинг, техническое состояние.

Принятое в настоящее время построение структуры электроэнергетической системы базируется на принципах наличия запаса мощности, наличия маневрового фонда силового оборудования, обеспечения возможности роста потребления электрической энергии, как в сфере жилищно-коммунального комплекса, так и в сфере реального производства. В результате, к настоящему времени, «общая мощность всех трансформаторов, установленных в сети, превышает генераторную мощность в 6–7 раз» [1]. Только в России эксплуатируется свыше четырех миллионов силовых трансформаторов (СТ), которые в 2023 году «передали потребителю 1 121,6 млрд кВт·ч», что на 2,4 % больше чем в предшествующем [2]. Количественно преобладают трансформаторы мощностью 25–630 кВА, напряжением 6–10 кВ, что объясняется структурой непосредственных потребителей электроэнергии [1].

Очевидно, что задача снабжения электрической энергией потребителя, при условии обеспечения качества, надежности и устойчивости, в значительной мере определяется состоянием парка эксплуатируемых трансформаторов. Отказы трансформаторов приводят не только к необходимости существенных финансовых затрат на ремонтные работы собственно трансформатора, но и к значимым финансовым потерям из-за недоотпуска продукции.

Оценка параметра потока отказов для СТ, приведенная в работе [3], составляет величину $\omega_{0i} = 0,016$ год⁻¹ при среднем времени восстановления $T_B = 50$ часов. При этом параметр потока плановых отключений на техническое обслуживание (ТО) составляет $\omega_{0i} = 0,25$ год⁻¹, при средней продолжительности плановых отключений ТПО = 6 часов [3]. Анализ технического состояния СТ в сельских электрических сетях 10/0,4 кВ приводит к оценке потока отказов $\omega_{0i} = 0,075$ год⁻¹, для этой группы силовых трансформаторов [4], что коррелируется с оценкой $\omega_{0i} = 0,09$ год⁻¹, приведенной в работе [5] и $\omega_{0i} = 0,08$ год⁻¹, данной в работе [6]. Одновременно отмечается, что более половины плановых ТО проводятся «без фактической необходимости» [7], в свою очередь это может вызвать снижение надежности «из-за этапа приработки замененных компонент или появления дефекта после ТО» [7].

Анализ причин, вызвавших отказ СТ показывает, что наибольшее количество связано с активной частью: витковые замыкания обмоток – 50–55 % и межлистовые замыкания в магнитопроводе 2,4 % [4, 5, 8, 9].

Основная часть. Особенность витковых замыканий (ВКЗ) обмоток СТ состоит в том, что на длительном начальном временном этапе они не сказываются на штатных режимах работы потребителя электрической энергии, рост тока незначителен и средства релейной защиты не срабатывают. Диагностика ВКЗ в этот период затруднена [10–14]. Дальнейшее развитие ВКЗ вовлекает значительное количество витков обмотки во внутреннее короткое замыкание и приводит к существенным повреждениям СТ. Последующий ремонт поврежденного трансформатора может потребовать финансирования достигающего 60–65 % оптовой стоимости СТ [5].

Кроме того, отказы СТ в сельских электрических сетях характеризуются зависимостями от количества и вида осадков, грозových часов, влажности воздуха и других стохастических процессов [4], что существенно затрудняет прогнозирование и характер развития данного вида дефектов.

Затраты на создание систем диагностики-мониторинга силового трансформатора (СД-М), по данным [15], составляют до 2–3 % стоимости самого СТ. Учитывая, отмеченное выше количество находящихся в эксплуатации более четырех миллионов СТ [1], суммарные затраты на создание систем диагностики-мониторинга СТ могут достичь весьма значимых величин.

Следовательно, становится актуальной задача построения системы мониторинга и диагностики СТ, которая будет способна дать количественную оценку технического состояния СТ в целом или его наиболее уязвимой части, в данном случае – активной части СТ, которая включает в себя обмотки трансформатора и магнитопровод [8,10]. Построение СД-М ориентированной на диагностику состояния активной части трансформатора, и прежде всего ВКЗ, позволит существенно снизить затраты на мониторинг и диагностику, при сохранении достаточной степени работоспособности и надежности системы электроснабжения.

Методы мониторинга и диагностики витковых замыканий обмоток силового трансформатора принято делить на следующие группы:

- мониторинг и диагностика по химическому изменению состава и характеристик масла [16–18];
- мониторинг и диагностика по тепловым характеристикам работающего трансформатора [19,20];
- мониторинг и диагностика по вибрационным и акустическим характеристикам работающего трансформатора, включая частичные разряды [21–23];
- мониторинг и диагностика по совокупности анализируемых характеристик, с применением современных нейро-сетевых методов обработки данных [24–26];

- мониторинг и диагностика по реакции на искусственные и естественные электромагнитные воздействия [27-31].

Заключение и выводы. Наименее затретен последний из вышеуказанных вид мониторинга и диагностики витковых коротких замыканий обмоток трансформатора - мониторинг и диагностика по реакции на искусственные и естественные электромагнитные воздействия. Это обусловлено: хорошо развитой теорией стационарных, квазистационарных и переходных электромагнитных процессов в трансформаторах [14,32,33], высокой степенью совпадения реальных электромагнитных процессов с аналогичными процессами описываемыми их цифровыми двойниками [34-37]; относительной легкостью масштабирования, тиражирования и адаптации к конкретной номенклатуре эксплуатируемого трансформаторного парка [38]; относительной дешевой материальных носителей реализаций методик мониторинга и диагностики (микрокомпьютеры); возможностью использования в качестве измерительной аппаратуры штатных измерительных трансформаторов и другой штатной аппаратуры и измерительных каналов [39,40].

Отмеченные обстоятельства хорошо коррелируются с работой [41], где проанализировано более 40 патентов и 60 публикаций и отмечается, что в методах диагностики силового оборудования электростанций «наиболее часто используются измерения электрических величин», причем это относится, как к анализируемым в указанной работе патентным источникам, так и к научной литературе.

Список литературы

1. Костинский, С. С. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкции силовых трансформаторов / С. С. Костинский // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 1-2. – С. 14-32.
2. Краткий отчет о функционировании ЕЭС России в 2023 году. [Электронный ресурс] URL: https://www.sops.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2024/ups_rep2023.pdf (дата обращения: 08.02.2024).
3. Виноградова А. В. Повышение надёжности трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ заменой одного трансформатора на два / А.В. Виноградова, А.В. Виноградов, Д.В. Конкин // Агротехника и энергообеспечение. 2023. № 3(40). С. 65-75.
4. Канюгин О.И. Стратегия обслуживания силовых трансформаторов в сельских электрических сетях 10 кВ по результатам диагностирования / О.И. Канюгин, Н.Л. Макарова // Вестник Чувашского университета. № 3. С. 58–67.
5. Белов А.В. Выявление признаков межвитковых замыканий в обмотках потребительских силовых трансформаторов / А. В. Белов, Ю. П. Ильин, Р. В. Банин // АПК России. 2017. Т. 24, № 4. С. 970-979.
6. Лаврин М.С. Обзор отказов силовых трансформаторов в распределительных сетях 10/0,4 кВ / М. С. Лаврин // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 92-12. С. 79-81. DOI 10.18411/trnio-12-2022-566.
7. Грищенко Д.Н. Алгоритм автоматизированного мониторинга технического состояния силовых трансформаторов распределительных систем электроснабжения / Д. Н. Грищенко, В. В. Лозовский, Е. Н. Штрекер // ИТ-Стандарт. 2022. № 4(33). С. 5-10.
8. Лапшин Е. Система мониторинга и диагностики силовых трансформаторов и КРУЭ на цифровой подстанции "Медведевская" / Е. Лапшин, А. Селиханович, И. Афонин // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № S2(9). С. 42-43.
9. Рыбаков Л.М. К вопросу однофазных повреждений обмоток силовых трансформаторов в системе «распределительная сеть – трансформатор» и разработка средства предотвращения их отказов / Л.М. Рыбаков, С.В. Ласточкин, О.И. Канюгин // Вестник Чувашского университета. 2019. № 3. С. 206–218.
10. Козменков О.Н. Методы диагностики технического состояния силовых трансформаторов / О. Н. Козменков, А. Е. Калаев // Наука и образование транспорту. 2016. № 1. С. 262-265.
11. Белянин, А.А. Исследование чувствительности дифференциальной токовой защиты трансформатора к сложным видам повреждений / А. А. Белянин, А. Н. Маслов, И. В. Смирнова, М. Ю. Широкин // Вестник Чувашского университета. 2019. № 3. С. 29-35.
12. Козубай И. Разработка технических средств и метода диагностики повреждения обмоток силового масляного трансформатора 10/0,4 кВ / И. Козубай, У. А. Калматов, Т. С. Борукеев, О. С. Суйумбаев // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2023. Т. 23, № 4. С. 21-28.
13. Галушко, В. Н. Повышение надежности трансформаторов с помощью комплексного анализа данных приборного учета при межвитковых коротких замыканиях / В. Н. Галушко, И. Л. Громыко, С. И. Зайцев // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2021. № 1(42). С. 85-89.
14. Бутырин, П. А. Цифровизация и аналитика в электротехнике. Цифровые двойники трансформаторов / П. А. Бутырин, М. Е. Алпатов // Электричество. 2021. № 10. С. 4-10. DOI 10.24160/0013-5380-2021-10-4-10.
15. Андреев К.А. Проблемы устройств мониторинга и диагностики трансформаторов под нагрузкой / К. А. Андреев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 380-388.
16. Брякин И.В. Система мониторинга технического состояния силового трансформатора по состоянию масла / И.В. Брякин, И.В. Бочкарев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №1 (53). С. 34-46.
17. Давиденко, И. В. Идентификация дефектов трансформаторов по анализу газов, растворенных в масле / И. В. Давиденко, К. В. Овчинников // Электротехника. – 2019. – № 4. – С. 48-54.
18. Дагаева, М. В. Экспертная система диагностики маслонаполненных силовых трансформаторов на основе нечеткой логики / М. В. Дагаева, Д. В. Катаева, А. С. Катаев // Вестник НЦБЖД. – 2018. – № 3(37). – С. 138-147.
19. Шевченко, А. М. Методика инфракрасной диагностики силовых трансформаторов / А. М. Шевченко // Уральский научный вестник. – 2023. – Т. 7, № 3. – С. 161-167.
20. Аншаков, В. С. Исследование эффективности внедрения методики оценки технического состояния силовых трансформаторов на основе инфракрасного излучения / В. С. Аншаков, М. В. Кюрсак // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2023. –

№ 3(75). – С. 143-152.

21. Басенко, В.Р. Усовершенствованный метод вибрационного контроля технического состояния силового трансформатора, основанный на фрактальном анализе амплитудно-временной характеристики / В. Р. Басенко, И. В. Ившин, О. В. Владимиров, М. Ф. Низамиев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 2. – С. 124-136.

22. Басенко, В.Р. 3D модель силового трансформатора для исследования его технического состояния по вибрационным параметрам / В. Р. Басенко, М. Ф. Низамиев, И. В. Ившин, О. В. Владимиров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 130-143.

23. Хренников, А. Ю. Силовые маслонаполненные трансформаторы: акустические испытания, скорректированный уровень звуковой мощности, борьба с шумами / А. Ю. Хренников, Ф. А. Лаврентьев, И. А. Шкуропат // Релейная защита и автоматизация. – 2022. – № 3(48). – С. 58-63.

24. Колдаев, А. И. Применение адаптивной системы нейро-нечеткого вывода для диагностики силовых трансформаторов / А. И. Колдаев, Б. М. Шебзухова // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2021. – Т. 6, № 2(24). – С. 75-80.

25. Алюнов, А. Н. Диагностика электрических частей силовых трансформаторов с применением методов машинного обучения / А. Н. Алюнов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2023. – Т. 25, № 5. – С. 23-33. – DOI 10.18127/j19998554-202305-04.

26. Хальясмаа, А. И. Применение технологии цифрового двойника для анализа и прогнозирования состояния трансформаторного оборудования / А. И. Хальясмаа, И. С. Ревенков, А. В. Сидорова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 99-113.

27. Исаев, Ю. Н. Расчет частотной зависимости элементов схемы замещения обмоток силового трансформатора при его диагностике коротким импульсом / Ю. Н. Исаев, О. В. Васильева // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – № 1. – С. 60-66.

28. Исаев, Ю.Н. Математическая модель трансформатора при его диагностике коротким импульсом / Ю. Н. Исаев, В. А. Колчанова, Г. А. Елгина, А. В. Лавринович // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 6.

29. Степанов В.М. Анализ конструктивных схем дифференциальной защиты силовых трансформаторов от короткого замыкания / В. М. Степанов, Н. А. Свистунов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 12-1. С. 104-109. EDN ZXGZJV.

30. Гайнутдинов Р.Р. Методология исследования электромагнитной стойкости технических систем при внешних электромагнитных воздействиях от нескольких источников / Р. Р. Гайнутдинов, С. Ф. Чермошенцев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2023. № 1. С. 135-141.

31. Ярымбаш, Д.С. Моделирование электромагнитных процессов при работе силовых трансформаторов под нагрузкой и в режиме холостого хода / Д. С. Ярымбаш, М. И. Кокур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник // Проблемы региональной энергетики. – 2020. – № 1(45). – С. 1-13. – DOI 10.5281/zenodo.3713396.

32. Исаев, Ю. Н. Расчет параметров распределенной схемы замещения обмоток трансформатора с учетом влияния скин-эффекта / Ю. Н. Исаев, Е. В. Старцева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326, № 9. – С. 47-55.

33. Климова, Т. Г. Оценка параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора на базе синхронизированных векторных измерений / Т. Г. Климова, В. С. Смирнов // Интеллектуальная электротехника. – 2023. – № 1(21). – С. 102-117.

34. Снитько, И.С. Разработка модели переходных режимов с учетом взаимной индуктивности полей рассеяния для реализации цифрового двойника трансформатора / И. С. Снитько, А. И. Тихонов, А. В. Стулов, В. Е. Мизонов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2021. – № 4. – С. 47-56.

35. Пехота, А. Н. Технология использования сверточных нейронных сетей при диагностике состояния трансформаторов / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2021. – № 12. – С. 63-69.

36. Тихонов, А.И. Разработка 2D-моделей магнитного поля для реализации технологии цифровых двойников и порождающего проектирования силовых трансформаторов / А. И. Тихонов, А. В. Стулов, И. С. Снитько, А. В. Подобный // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2020. – № 3. – С. 32-43.

37. Ен, Я. Оценка состояния силового трансформатора на основе цифрового двойника / Я. Ен, Ч. Чжу, Я. Цзин [и др.] // Энергоэксперт. – 2023. – № 4(88). – С. 64-69.

38. Литвинов, И. И. Исследование возможности применения амплитудно-фазного анализа трансформатора для диагностики / И. И. Литвинов, О. В. Танфильев, И. Н. Бузмаков // Ползуновский альманах. – 2020. – № 1. – С. 134-137.

39. Поляков, В. С. Онлайн диагностика активной части силовых трансформаторов / В. С. Поляков // Материаловедение. Энергетика. – 2021. – Т. 27, № 3. – С. 63-76.

40. Мустафин, Р.Г. Обнаружения витковых замыканий обмоток трансформаторов по параметрам переходного процесса // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. Т. 21, № 3. – С. 14-23

41. Хлебцов, А. П. Развитие методов и устройств диагностики силового электрооборудования трансформаторных подстанций / А. П. Хлебцов, Л. Х. Зайнутдинова, А. Н. Шилин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2020. – Т. 16, № 3. – С. 14-27.

Архипова Ольга Владимировна, старший преподаватель, arkh82@mail.ru, Россия, Ханты-Мансийск, Ханты-Мансийск Югорский государственный университет,

Ковалев Владимир Захарович, д-р техн. наук, профессор, vz_kovalev@mail.ru, Россия, Ханты-Мансийск, Югорский государственный университет,

Сайфуллин Руслан Вадикович, аспирант, saifullinrv96@gmail.com, Россия, Ханты-Мансийск, Югорский государственный университет

MODERN METHODS AND ALGORITHMS FOR IDENTIFYING DEFECTS IN THE ACTIVE PART OF POWER TRANSFORMERS

O.V. Arkhipova, V.Z. Kovalev, R.V. Saifullin

The modern design of electric power systems is based on principles of ensuring power reserves, availability of maneuvering reserves of power equipment, and the ability to expand electricity consumption. However, despite this, ensuring high-quality and reliable power supply remains an ongoing issue, especially concerning the operation of power transformers (PTs). A significant number of PTs are in operation in Russia, and their failures can lead to serious financial losses and disruptions in power supply. The peculiarities of failures include issues with the active part of the transformers, particularly winding short circuits. To address this problem, the creation of a diagnostic and monitoring system for power transformers focused on diagnosing the active part, particularly winding short circuits, is proposed. Monitoring and diagnostic methods include chemical analysis of oil, thermal characteristics, vibrational and acoustic parameters, as well as modern data processing methods and reactions to electromagnetic influences. These methods, including monitoring electrical quantities, represent effective means of early defect detection in transformers, allowing for the prevention of serious accidents and minimization of financial losses.

Key words: electric power system, transformers, reliability, failures, diagnostics, monitoring, technical condition.

Arkhipova Olga Vladimirovna, senior lecturer, arkh82@mail.ru, Russia, Khanty-Mansiysk, Yugra State University,

Kovalev Vladimir Zakharovich, doctor of technical sciences, professor, vz_kovalev@mail.ru, Russia, Khanty-Mansiysk, Yugra State University,

Saifullin Ruslan Vadikovich, postgraduate, saiFULLINrv96@gmail.com, Russia, Khanty-Mansiysk, Yugra State University

УДК 621.3.079

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-338-339

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЖНЫМ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАСОСОМ С ВЫЧИСЛИТЕЛЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

К.М. Чубаров, И.А. Косорлуков, А.В. Стариков, В.Н. Козловский

Статья посвящена поиску аналитической зависимости динамического уровня жидкости в нефтяной скважине от частоты и действующих значений фазного тока и напряжения на выходе станции управления погружным насосом. Предложена система управления центробежным насосом с погружным асинхронным двигателем с вычислителем динамического уровня жидкости, позволяющая осуществить автоматический вывод нефтяной скважины на стационарный режим работы. Представлены результаты компьютерного моделирования, подтверждающие, что предложенная система позволяет стабилизировать динамический уровень жидкости в нефтяной скважине без применения специализированного датчика.

Ключевые слова: погружной электроцентробежный насос, нефтяная скважина, динамический уровень жидкости, станция управления, преобразователь частоты.

Введение. Поддержание динамического уровня жидкости в скважине при механизированной добыче нефти является важной технической задачей, поскольку позволяет обеспечить длительный установившийся режим функционирования скважины с требуемым дебитом. Для решения этой задачи используют станции управления погружным оборудованием, оснащенные частотными преобразователями и контроллерами, с помощью которых реализуются замкнутые по датчику динамического уровня жидкости автоматические системы. Для измерения динамического уровня можно применять эхолоты, устанавливаемые на устье скважины [1, 2]. Но в нефтяной отрасли наибольшее распространение нашли термоманометрические системы, позволяющие контролировать динамический уровень посредством измерения давления жидкости на приеме насоса [3]. В обоих случаях контроль динамического уровня жидкости в скважине требует применения дорогостоящего оборудования. С другой стороны, станция управления погружным насосом имеет в своем составе программируемый контроллер, имеющий, как правило, большие вычислительные возможности. Эти возможности иногда используют для косвенного определения динамического уровня жидкости в скважине, например, посредством наблюдателя, использующего при вычислении информацию датчика расхода, установленного на устье скважины. [4, 5].

Однако, станции управления погружными центробежными насосами с преобразователями частоты, как правило, оснащены датчиками тока и напряжения, позволяющими контролировать режимы работы погружного электродвигателя. В связи с этим целью работы является поиск аналитической зависимости, позволяющей вычислить динамический уровень жидкости в нефтяной скважине по результатам измерения фазного тока и напряжения на выходе станции управления погружным насосом и разработка системы стабилизации динамического уровня жидкости в скважине без использования датчика динамического уровня.

Решение задачи. Рассмотрим случай, когда нефтяная скважина оснащена погружным центробежным насосом, приводимым в движение асинхронным двигателем М. В станции управления установлен частотный преобразователь ПЧ, а для согласования напряжения двигателя с выходным напряжением станции применен повышающий трансформатор ТМПН. Однолинейная схема электротехнического комплекса добывающей скважины в этом случае выглядит следующим образом (рис. 1).

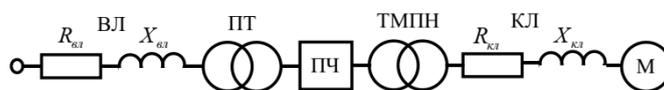


Рис. 1. Однолинейная схема электротехнического комплекса добывающей скважины с погружным асинхронным электродвигателем

Напряжение 6 или 10 кВ через воздушную линию ВЛ, обладающую активным $R_{вЛ}$ и индуктивным $X_{вЛ}$ сопротивлениями, подается на понижающий трансформатор ПТ, который преобразует его в напряжение 0,4 (0,38) кВ, необходимое для питания станции управления и преобразователя частоты ПЧ. Повышающий трансформатор ТМПН соединен с погружным асинхронным двигателем (ПЭД) кабельной линией КЛ, имеющей активное $R_{кЛ}$ и индуктивное $X_{кЛ}$ сопротивления. Именно для этого случая найдем зависимость динамического уровня жидкости в скважине $H_{дин}$ от действующих значений фазных токов и напряжений и частоты f_1 на выходе станции управления.

Ток I_1 в цепи статора ПЭД связан с током $I_{сy}$ на выходе станции управления зависимостью

$$I_1 = \frac{I_{сy} - I_{хх.ТМПН}}{k_{ТМПН}}, \quad (1)$$

где $I_{хх.ТМПН}$ и $k_{ТМПН}$ – ток холостого хода и коэффициент трансформации повышающего трансформатора ТМПН. Фазное напряжение U_1 на статоре ПЭД будет равно

$$U_1 = k_{ТМПН} U_{сy} - \Delta U_{ТМПН} - \Delta U_{кЛ}, \quad (2)$$

где $U_{сy}$ – фазное напряжение на выходе станции управления, то есть на выходе преобразователя частоты ПЧ; $\Delta U_{ТМПН}$ и $\Delta U_{кЛ}$ – падения напряжения на повышающем трансформаторе ТМПН и соединительном кабеле КЛ.

При нахождении зависимости $H_{дин}(I_{сy}, U_{сy}, f_1)$ пренебрежем падением напряжения на повышающем трансформаторе, поскольку $\Delta U_{ТМПН} < \Delta U_{кЛ}$, то есть будем считать, что $\Delta U_{ТМПН} \approx 0$.

Падение напряжения на соединительном кабеле можно определить по формуле

$$\Delta U_{кЛ} = I_1 \sqrt{R_{кЛ}^2 + 4\pi^2 L_{кЛ}^2 f_1^2}, \quad (3)$$

где $L_{кЛ}$ – индуктивность соединительного кабеля, приведенная на одну фазу.

Подставляя (3) в (2), получим

$$U_1 = k_{ТМПН} U_{сy} - I_1 \sqrt{R_{кЛ}^2 + 4\pi^2 L_{кЛ}^2 f_1^2}. \quad (4)$$

Мощность, потребляемая погружным асинхронным двигателем, определяется выражением

$$P_{ПЭД} = 3U_1 I_1 \cos \varphi,$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности ПЭД.

Следовательно, мощность, подводимая к входному валу погружного центробежного насоса, будет равна

$$P_{нас} = 3U_1 I_1 \eta_{ПЭД} \cos \varphi, \quad (5)$$

где $\eta_{ПЭД}$ – коэффициент полезного действия ПЭД.

С другой стороны, мощность на входном валу насоса определяется его режимом работы, который зависит от развиваемого им напора и производительности $Q_{нас}$ [6]

$$P_{нас} = \frac{(H_{дин} + \Delta H) Q_{нас} \rho g}{\eta_{нас}}, \quad (6)$$

где $\Delta H = H_{тр} + \frac{P_{буф}}{\rho g} - H_z$; $H_{тр}$ – потери напора на трение в насосно-компрессорных трубах; $P_{буф}$ – буферное давление на устье скважины; ρ – плотность откачиваемой жидкости; g – ускорение свободного падения; H_z – напор, создаваемый растворенным в жидкости газом; $\eta_{нас}$ – коэффициент полезного действия насоса. Следует отметить, что все величины, входящие в формулу (6) должны быть переведены в систему СИ.

Анализ напорных характеристик центробежных насосов [7] показывает, что производительность насоса при прочих равных условиях пропорциональна скорости вращения

$$Q_{нас} = k_Q \omega, \quad (7)$$

где k_Q – коэффициент пропорциональности.

Подставляя (7) в (6) и учитывая, что момент на валу ПЭД равен

$$M_{ПЭД} = \frac{P_{нас}}{\omega},$$

получим зависимость $M_{ПЭД}$ от динамического уровня жидкости в скважине

$$M_{ПЭД} = \frac{(H_{дин} + \Delta H)k_Q \rho g}{\eta_{нас}}. \quad (8)$$

При управлении асинхронным двигателем от частотного преобразователя скорость вращения равна

$$\omega = \frac{2\pi f_1}{Z_n} - \Delta\omega, \quad (9)$$

где f_1 – частота питающего напряжения; Z_n – число пар полюсов двигателя; $\Delta\omega$ – падение скорости под действием момента нагрузки.

В первом приближении можно считать, что падение скорости на рабочем участке механической характеристики асинхронного двигателя пропорциональна моменту нагрузки и может с достаточной степенью точности определена по формуле [8]

$$\Delta\omega = \frac{(\omega_0^{50} - \omega_{ном})M_{ПЭД}}{M_{ПЭД.ном}}, \quad (10)$$

где ω_0^{50} – скорость идеального холостого хода двигателя при частоте питающего напряжения 50 Гц; $M_{ПЭД.ном}$ и $\omega_{ном}$ – номинальные момент и скорость вращения ПЭД.

Подставляя (8) в (10), получим следующую зависимость падения скорости от динамического уровня жидкости в скважине

$$\Delta\omega = \frac{(\omega_0^{50} - \omega_{ном})(H_{дин} + \Delta H)k_Q \rho g}{M_{ПЭД.ном} \eta_{нас}}. \quad (11)$$

Приравнявая (5) к (6), с учетом формул (7) – (11) можно записать

$$3U_1 I_1 \eta_{ПЭД} \cos \varphi = \frac{(H_{дин} + \Delta H)k_Q \rho g}{86400 \eta_{нас}} \left[\frac{2\pi f_1}{Z_n} - \frac{(\omega_0^{50} - \omega_{ном})(H_{дин} + \Delta H)k_Q \rho g}{M_{ПЭД.ном} \eta_{нас}} \right]$$

или

$$3U_1 I_1 \eta_{нас} \eta_{ПЭД} \cos \varphi = \frac{2\pi(H_{дин} + \Delta H)k_Q \rho g f_1}{Z_n} - \frac{(H_{дин} + \Delta H)^2 (k_Q \rho g)^2 (\omega_0^{50} - \omega_{ном})}{\eta_{нас} M_{ПЭД.ном}}. \quad (12)$$

Выражение (12) представляет собой квадратное уравнение относительно $H_{дин}$, которое после несложных алгебраических преобразований можно записать следующим образом

$$H_{дин}^2 - a_1 H_{дин} - a_2 = 0. \quad (13)$$

где $a_1 = \frac{2\pi \eta_{нас} M_{ПЭД.ном} f_1}{Z_n k_Q \rho g (\omega_0^{50} - \omega_{ном})} - 2\Delta H$; $a_2 = \frac{2\pi \eta_{нас} M_{ПЭД.ном} \Delta H f_1}{Z_n k_Q \rho g (\omega_0^{50} - \omega_{ном})} - \frac{3M_{ПЭД.ном} U_1 I_1 \eta_{нас}^2 \eta_{ПЭД} \cos \varphi}{(k_Q \rho g)^2 (\omega_0^{50} - \omega_{ном})} - \Delta H^2$.

По физическому смыслу задачи из решения (13) нам интересен только один корень, который определяется формулой

$$H_{дин} = \frac{a_1}{2} - \sqrt{\frac{a_1^2}{4} + a_2}$$

или с учетом коэффициентов a_1 и a_2

$$H_{дин} = \frac{\pi \eta_{нас} M_{ПЭД.ном} f_1}{Z_n k_Q \rho g (\omega_0^{50} - \omega_{ном})} - \Delta H - \sqrt{\left[\frac{\pi \eta_{нас} M_{ПЭД.ном} f_1}{Z_n k_Q \rho g (\omega_0^{50} - \omega_{ном})} - \Delta H \right]^2 + \frac{2\pi \eta_{нас} M_{ПЭД.ном} \Delta H f_1}{Z_n k_Q \rho g (\omega_0^{50} - \omega_{ном})} - \frac{3M_{ПЭД.ном} U_1 I_1 \eta_{нас}^2 \eta_{ПЭД} \cos \varphi}{(k_Q \rho g)^2 (\omega_0^{50} - \omega_{ном})} - \Delta H^2}. \quad (14)$$

Подставляя в (14) значения I_1 и U_1 из формул (1) и (4), получим зависимость динамического уровня $H_{дин}$ от параметров нефтяной скважины, центробежного насоса погружного электродвигателя, соединительного кабеля, повышающего трансформатора и измеренных действующих значений фазного тока I_{cy} и напряжения U_{cy} на выходе станции управления и заданной частоты f_1

$$H_{дин} = d_1 f_1 - d_2 - \sqrt{d_3 f_1^2 - d_4 U_{cy} (I_{cy} - d_5) + d_6 (I_{cy} - d_5)^2 \sqrt{d_7 + d_8 f_1^2}} \quad (15)$$

где

$$d_1 = \frac{\pi \eta_{нас} M_{ПЭД.ном}}{Z_n k_Q \rho g (\omega_0^{50} - \omega_{ном})}; \quad d_2 = \Delta H; \quad d_3 = d_1^2; \quad d_4 = \frac{3 M_{ПЭД.ном} \eta_{нас}^2 \eta_{ПЭД} \cos \varphi}{(k_Q \rho g)^2 (\omega_0^{50} - \omega_{ном})};$$

$$d_5 = I_{хх.ТМПН}; \quad d_6 = \frac{d_4}{k_{ТМПН}^2}; \quad d_7 = R_{кл}^2; \quad d_8 = 4 \pi^2 L_{кл}^2.$$

Формула (15) является решением поставленной задачи расчета динамического уровня жидкости в нефтяной скважине по измеренным действующим значениям фазных токов и напряжений и частоты на выходе станции управления погружным центробежным насосом с исполнительным асинхронным двигателем.

Найденное решение позволяет предложить следующую систему управления погружным электроцентробежным насосом, которая осуществляет автоматический вывод нефтяной скважины на стационарный режим работы и стабилизацию динамического уровня жидкости в скважине без использования датчика динамического уровня (рис. 2). Она содержит блок задания динамического уровня жидкости, регулятор динамического уровня, преобразователь частоты, повышающий трансформатор, погружной электроцентробежный насос, датчик тока, датчик напряжения, два аналого-цифровых преобразователя (АЦП1 и АЦП2) и блок вычисления динамического уровня с соответствующими связями.

Результаты компьютерного моделирования. Для подтверждения работоспособности предлагаемой системы управления погружным электроцентробежным насосом с вычислителем динамического уровня жидкости произведем ее компьютерное моделирование для некоторой гипотетической скважины.



Рис. 2. Функциональная схема предлагаемой системы управления погружным электроцентробежным насосом

Допустим, что скважина обладает следующими параметрами: внутренний диаметр колонны обсадных труб $d_k = 0,126$ м; диаметр насосно-компрессорных труб $d_{нкт} = 0,073$ м; площадь затрубного пространства $S_z = 0,0083$ м²; статический уровень жидкости в скважине $H_{ст} = 180$ м; коэффициент продуктивности нефтяного пласта $k_{np} = 1,0553 \cdot 10^{-10}$ м³/с·Па; $\rho = 1041$ кг/м³. Скважина оснащена погружным центробежным насосом **0215ЭЦНАКИ5-125И** с коэффициентом $k_Q = 4,56 \cdot 10^{-6}$ м³/рад и коэффициентом полезного действия $\eta_{нас} = 0,465$. Насос приводится в действие погружным асинхронным двигателем ЭДТ45-103М1 со следующими техническими данными: $M_{ПЭД.ном} = 151,6$ Нм, $\omega_0^{50} = 314$ рад/с, $\omega_{ном} = 297$ рад/с, номинальное напряжение 1400 В. Двигатель имеет следующие параметры схемы замещения: $R_1 = 2,32$ Ом, $R_2' = 1,94$ Ом, $L_1 = 0,1485$ Гн, $L_2' = 0,1511$ Гн, $L_0 = 0,1399$ Гн. Для согласования выходного напряжения преобразователя частоты с напряжением ПЭД используется повышающий трансформатор ТМПНГ-СЭЩ-100/6-12; 1.57/0.38; 3.40/0.64; Yн/Yн-0 с коэффициентом трансформации $k_{ТМПН} = 3,65$ и током холостого хода $I_{хх.ТМПН} = 5,5$ А. Соединительный кабель обладает, например, активным сопротивлением $R_{кл} = 1,148$ Ом и индуктивностью $L_{кл} = 4,835 \cdot 10^{-4}$ Гн.

Тогда расчетная модель предлагаемой системы управления погружным электроцентробежным насосом будет иметь вид, приведенный на рис. 3.

где U_1 – действующее значение фазного напряжения статора асинхронного двигателя; $T_1 = \frac{\Delta}{R_1 L_2'}$, $T_2 = \frac{\Delta}{R_2' L_1}$ – электромагнитные постоянные времени цепей статора и ротора; $\Delta = L_1 L_2' - L_0^2$; J_{np} – приведенный момент инерции ротора; M_c – момент нагрузки; p – оператор дифференцирования.

Система уравнений (16) позволяет определить действующее значение тока статора асинхронного двигателя при известных значениях частоты, действующего значения фазного напряжения и момента нагрузки M_c .

Компьютерное моделирование показывает, что предлагаемая система управления погружным электроцентробежным насосом выводит нефтяную скважину на стационарный режим работы с заданным динамическим уровнем жидкости 1200 м с относительно малой погрешностью, составляющей 20 м (рисунок 7). При этом наличие интегральной составляющей в регуляторе обеспечивает стабилизацию требуемой величины динамического уровня жидкости в скважине при вариации коэффициента продуктивности нефтяного пласта.

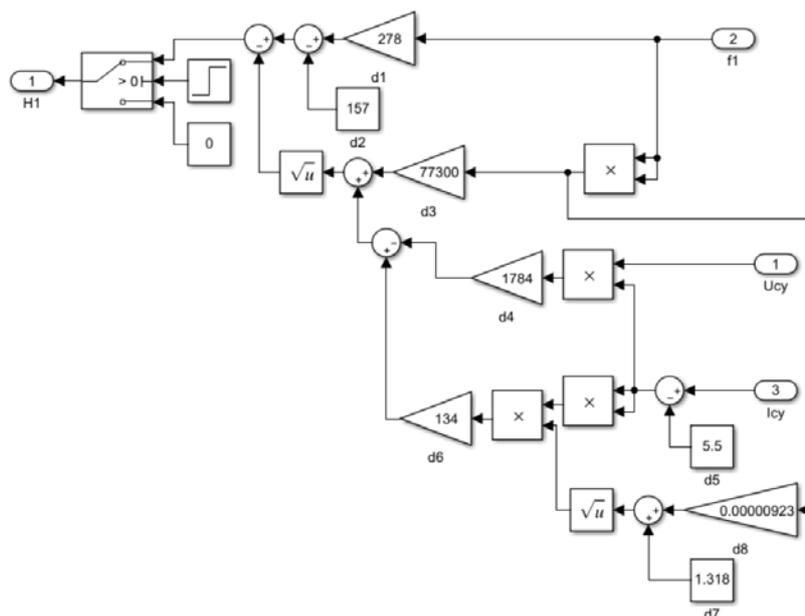


Рис. 5. Расчетная модель блока вычисления динамического уровня жидкости

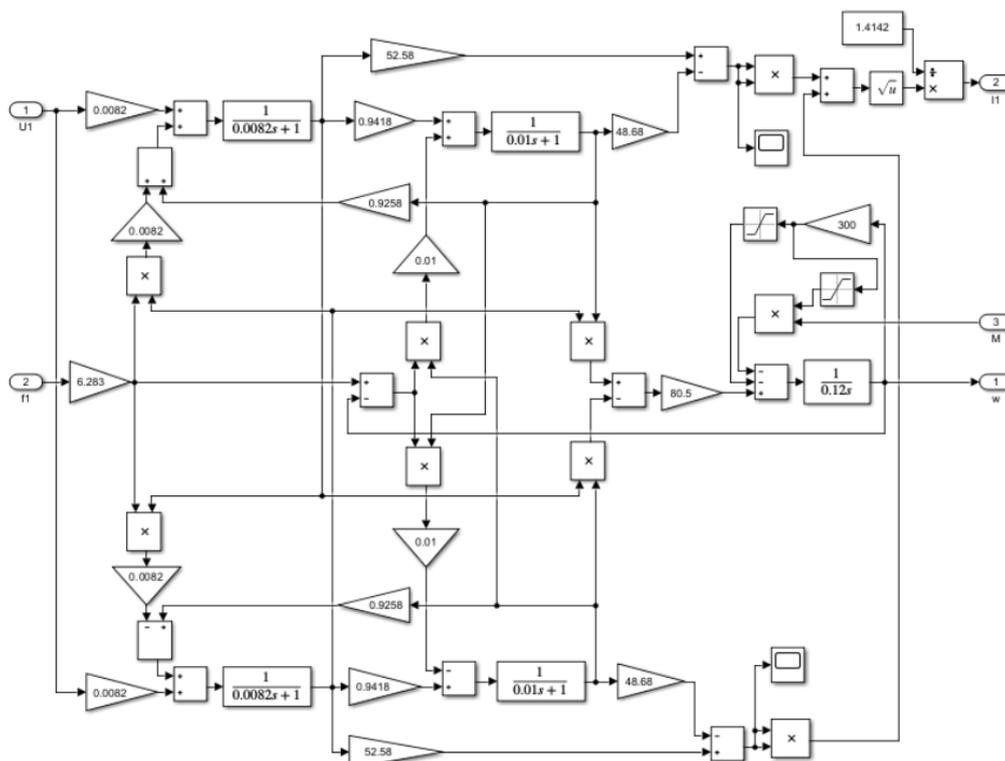


Рис. 6. Расчетная модель рассматриваемого погружного асинхронного двигателя при частотном управлении

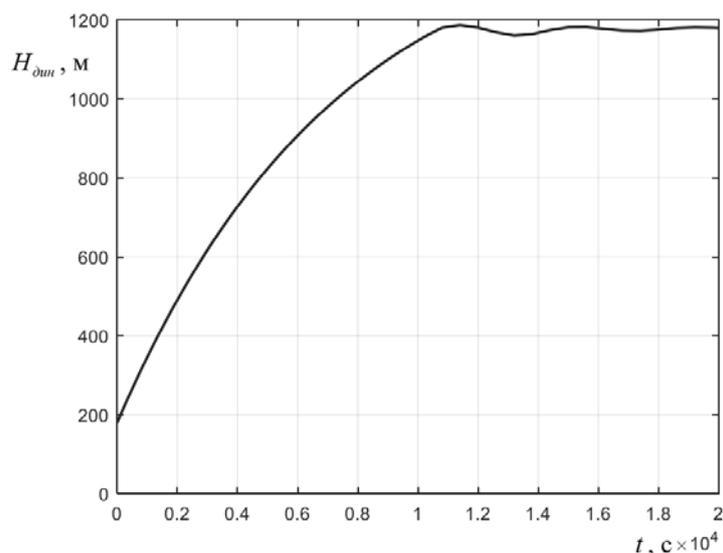


Рис. 7. График изменения динамического уровня жидкости в нефтяной скважине при работе предлагаемой системы управления погружным электроцентробежным насосом

Отличительной особенностью предлагаемой системы управления центробежным насосом с погружным асинхронным электродвигателем является то, что она не требует применения специализированного датчика динамического уровня, а это значительно упрощает ее техническую реализацию.

Выводы:

1. Найденная аналитическая зависимость позволяет рассчитать динамический уровень жидкости в нефтяной скважине, оснащенной погружным электроцентробежным насосом, по измеренным значениям фазного тока и напряжения на выходе станции управления.
2. Предложенная система управления погружным электроцентробежным насосом обеспечивает автоматический вывод нефтяной скважины на стационарный режим работы и стабилизацию динамического уровня жидкости без использования специализированного датчика.

Список литературы

1. Живаева В.В., Стариков А.В., Стариков В.А. Применение частотно-регулируемого электропривода для вывода скважины на стационарный режим / Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», №1 (23). 2009. Самара: СамГТУ, 2009. С. 142 – 151.
2. Патент России № 2370673. Система управления погружным электроцентробежным насосом / В.В. Живаева, А.В. Стариков, В.А. Стариков (Россия) // Оpubл. 20.10.2009, Бюл. № 29.
3. Азаматов З.З. Опыт применения термоманометрических систем в ОАО «Сургутнефтегаз» / Инженерная практика, № 09, 2015.
4. Стариков А.В., Полежаев Д.Ю., Красненко В.Н. Анализ погрешности вычисления динамического уровня жидкости в скважине по сигналам датчика расхода / Ашировские чтения: Сб. трудов XII Международной научно-практической конференции. Том III. Проблемы энергетического обеспечения нефтегазового комплекса. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. С. 90 – 94.
5. Масляницын А.П. Автоматизация технологического процесса добычи нефти погружными центробежными насосами. Автореферат дис. канд. техн. наук. Самара: СамГАСА, 1999. 18 с.
6. Стариков А.В., Живаева В.В., Полежаев Д.Ю. Энергоэффективный подход к выбору оборудования установки погружного насоса // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», № 2 (54). 2017. Самара: СамГТУ, 2017. С. 130 – 138.
7. Погружное оборудование и комплексный сервис // Технический каталог № 3. М.: Группа компаний «Римера», 2014. 203 с.
8. Стариков А.В., Стрижакова Е.В., Беляева О.С., Альтахер А.А.К. Наблюдатель скорости вращения асинхронного двигателя // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», Т. 28. № 4. 2020. Самара: СамГТУ, 2020. С. 155 – 166.

Чубаров Кирилл Михайлович, аспирант, cool.chubarov@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Косордуков Игорь Андреевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, aees@rambler.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Стариков Александр Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, star58@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Козловский Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет

CONTROL SYSTEM FOR ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP WITH DYNAMIC LIQUID LEVEL COMPUTER

K.M. Chubarov, I.A. Kosorlukov, A.V. Starikov, V.N. Kozlovsky

The article is devoted to the search for the analytical dependence of the dynamic liquid level in an oil well on the frequency and effective values of phase and voltage at the output of a submersible pump control station. A control system for a centrifugal pump with a submersible asynchronous motor with a dynamic liquid level calculator has been proposed, which makes it possible to automatically bring an oil well to a stationary operating mode. The results of computer modeling are presented, confirming that the proposed system makes it possible to stabilize the dynamic fluid level in an oil well without the use of a specialized sensor.

Key words: submersible electric centrifugal pump, oil well, dynamic liquid level, control station, frequency converter.

Chubarov Kirill Mikhailovich, postgraduate, cool.chubarov@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Kosorlukov Igor Andreevich, candidate of technical sciences, docent, head of department, aees@rambler.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Starikov Alexander Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, head of department, star58@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Kozlovsky Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, head of department, Kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University

УДК 621.314.6

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-345-346

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ОДНОФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С ЁМКОСТНЫМ ФИЛЬТРОМ

А.В. Фролов, П.А. Овчаренко, А.В. Васильев

В статье представлены результаты теоретического расчёта и моделирования в программе SimInTech работы однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей с ёмкостным фильтром. Исследованы зависимости среднего значения и коэффициента пульсаций напряжения нагрузки от ёмкости фильтра и сопротивления нагрузки. Показано, что известные аналитические зависимости среднего значения и коэффициента пульсаций напряжения нагрузки от параметров нагрузки имеют очень ограниченную область применения и низкое значение точности аппроксимации (не более 0,6). Разработаны аппроксимирующие функции для описания вышеуказанных зависимостей с точностью аппроксимации не менее 0,999.

Ключевые слова: выпрямитель, ёмкостный фильтр, SimInTech, среднее напряжение, коэффициент пульсаций.

Исследования, изложенные в материале статьи, проводились в рамках гранта ФГБОУ ВО № ВН001/2023.

Работа источников вторичного электропитания, а также некоторых радиотехнических устройств (амплитудного демодулятора, детектора и др.) предусматривает выпрямление напряжения и его фильтрацию. В качестве амплитудных детекторов часто используются схемы однополупериодных выпрямителей с ёмкостным фильтром. В классических источниках вторичного электропитания без преобразования частоты наиболее часто применяются схемы мостовых выпрямителей. При небольших токах нагрузки и малой частоте пульсаций (до 1 кГц), вследствие технической и экономической целесообразности, наиболее часто применяются ёмкостные С-фильтры. А в импульсных прямоходовых и обратходовых преобразователях применяются однополупериодные схемы выпрямителей.

Кроме того, в настоящее время активно развиваются автономные гибридные источники электропитания от возобновляемых источников электроэнергии, в составе которых имеются небольшие ветростанции и солнечные панели. Эти устройства нашли применение для электропитания удалённых сельскохозяйственных объектов, например, кочующих пастухов, охотничьих зимовий, а также для автоматических метеостанций, точек экстренного вызова на удалённых дорогах и т.д. Недостатком таких автономных систем электропитания является сильная зависимость от погодных условий, наличия ветра и солнца, что снижает надёжность электроснабжения. Для решения этой проблемы сегодня гибридные автономные комплексы электроснабжения дополняются преобразователем энергии, работающим на основе перепада температур день-ночь [22-23]. В составе такого преобразователя имеется мостовой выпрямитель [21], работа которого в комплексе полностью не исследована, в частности, не исследованы зависимости пульсаций напряжения нагрузки от ёмкости фильтра и тока нагрузки. Вышеописанное обуславливает актуальность заявленной темы исследования.

Существующие методики расчёта работы выпрямителя с фильтром, как правило, отдельно анализируют работу выпрямителя (на холостом ходу или при работе на активную нагрузку) и работу сглаживающего фильтра. При этом считается, что фильтр сглаживает пульсации выпрямленного напряжения, но не изменяет его среднего значения, так как применяемые фильтры являются пассивными элементами. То есть фактически схема выпрямителя представляется источником ЭДС заданной формы. Но выпрямитель содержит диоды, в результате чего заряд конденсаторов фильтра выполняется от выпрямителя, а разряд – через нагрузку, а не через внутреннее сопротивление выпрямителя, вопреки описанной модели с источником ЭДС. Поэтому режим работы реальной схемы выпрямителя с фильтром значительно отличается от расчётного и совпадает с ним только в случае больших токов нагрузки. Эти отличия касаются как величины среднего значения выходного напряжения, так и коэффициента пульсаций. Так при работе однофазного мостового выпрямителя с ёмкостным фильтром на активную нагрузку его выходное напряжение значительно меняет свою форму в зависимости от тока нагрузки и от ёмкости фильтра (рис. 1) [6; 8; 10].

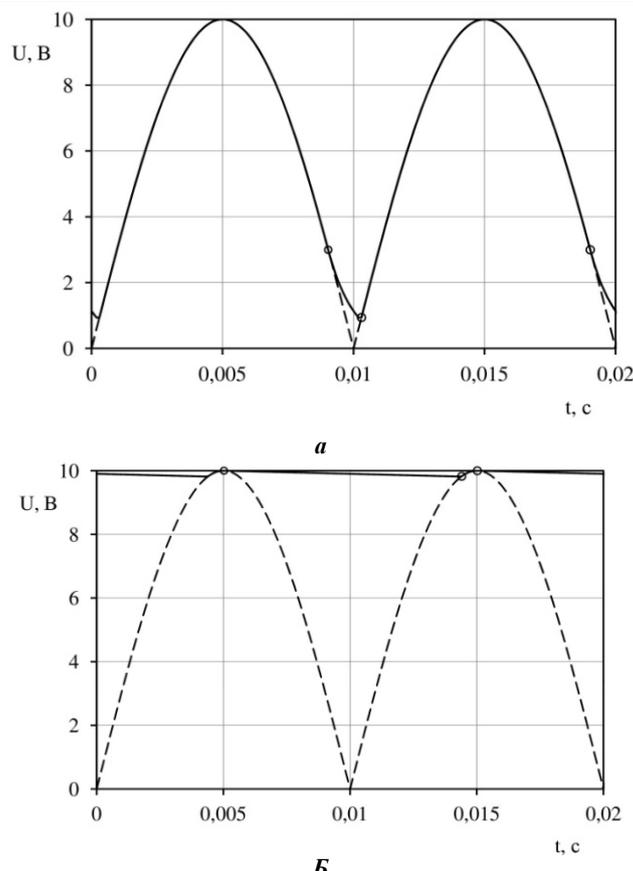


Рис.1. Диаграммы выходного напряжения мостового однополупериодного выпрямителя с ёмкостным фильтром при постоянных времени цепи: 1 мс (а); 500 мс (б)

Среднее значение выходного напряжения будет изменяться в пределах от $\frac{2\sqrt{2}}{\pi}U_{вх}$ до $\sqrt{2}U_{вх}$ (где $U_{вх}$ – действующее значение входного напряжения выпрямителя), то есть почти в два раза. Коэффициент пульсаций также может варьироваться от 0 на холостом ходу до расчётного 0,67 при больших токах нагрузки. Представленные на рис.1 диаграммы получены для ёмкости конденсатора фильтра 100 мкФ и сопротивлении нагрузки 10 Ом (при котором фильтр практически не сглаживает выходное напряжение) и 5 кОм (практически холостой ход для анализируемой схемы). При этом форма выходного напряжения становится сопоставимой с классически анализируемой лишь при достаточно низких сопротивлениях нагрузки - порядка 10 Ом.

Большинство методик расчёта режима работы мостового выпрямителя применяются при активной нагрузке. Также существуют методики расчёта выпрямителя на индуктивную нагрузку. Реже встречаются методики расчёта работы выпрямителя на чисто ёмкостную нагрузку. При этом выражения для среднего значения напряжения нагрузки и коэффициента пульсаций [2; 6; 8; 9; 10; 12; 13; 16; 17] достаточно приближённые. Часто они рассчитываются по сложным алгоритмам с помощью номограмм и только для ограниченных режимов работы [14], близких к режимам холостого хода или больших токов нагрузки. Формулы расчёта среднего напряжения нагрузки и коэффициента пульсаций напряжения нагрузки в зависимости от постоянной времени цепи активно-ёмкостной в литературных источниках нагрузки найти не удалось. Литературный поиск показывает [2; 3; 5; 6; 8; 10; 14; 15; 16; 17; 18], что при «классическом» расчёте мостового выпрямителя обычно применяются следующие формулы:

$$U_H = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}U_{вх} \quad (1)$$

$$K_{\pi} = \frac{2}{2^2-1} \approx 0,67 \quad (2)$$

где U_H – среднее значение напряжения нагрузки, В; $U_{вх}$ – действующее значение входного напряжения выпрямителя, В; K_{π} – коэффициент пульсаций напряжения в схеме без фильтра.

При «классическом» расчёте однополупериодного выпрямителя используются следующие формулы:

$$U_H = \frac{\sqrt{2}}{\pi}U_{вх} \quad (3)$$

$$K_{\pi} = \frac{\pi}{2} \approx 1,57 \quad (4)$$

Для описания режима работы однофазного двухполупериодного выпрямителя с ёмкостным фильтром существует формула:

$$\begin{cases} U_H = \sqrt{2}U_{вх} \left(1 - \frac{1}{2nfcR_n}\right) \\ CR_n > \frac{100}{f} \end{cases} \quad (5)$$

где f – частота напряжения сети, Гц; n – определяется типом выпрямителя ($n = 1$ для однополупериодного выпрямителя, $n = 2$ для двухполупериодного выпрямителя); C – ёмкость конденсатора фильтра, Ф; R_n – сопротивление нагрузки, Ом.

Но эта формула справедлива лишь для очень больших значений постоянной времени цепи нагрузки, когда режим работы схем практически соответствует режиму холостого хода.

Формул расчёта ёмкостного фильтра в современной литературе встречается несколько [2; 10; 15; 17] и они противоречивы. В большинстве работ приводится формула:

$$K_n = \frac{1}{2\pi f_n C R_n} \quad (6)$$

Но встречаются и другие выражения:

$$K_{сн} = \sqrt{(2\pi f_n C R_n)^2 + 1} \quad (7)$$

$$K_n = \frac{1}{\sqrt{3}(4f_n C R_n - 1)} \quad (8)$$

$$K_{сн} = \frac{n}{n^2 - 1} 2\pi f_c C R_n \quad (9)$$

$$K_{сн} = \frac{K_{п0}}{K_n}, \quad f_n = n f_c,$$

где K_n – коэффициент пульсаций напряжения нагрузки с фильтром; $K_{сн}$ – коэффициент сглаживания пульсаций; $K_{п0}$ – коэффициент пульсаций напряжения нагрузки без фильтра; f_n – частота пульсаций, Гц; f_c – частота сети, Гц.

Таким образом, существует проблема отсутствия достоверных методик прогнозирования среднего напряжения нагрузки и коэффициента пульсаций напряжения нагрузки при разных значениях активного сопротивления нагрузки и ёмкости сглаживающего фильтра. В связи с чем в статье приведены результаты теоретических исследований и математического моделирования работы однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей с активно-ёмкостной нагрузкой.

Методика исследований. Теоретические исследования заключались в расчёте идеализированной электрической цепи выпрямителя с активно-ёмкостной нагрузкой с использованием законов электротехники. При расчётах принимались следующие допущения: нагрузка – идеальный резистор; внутреннее сопротивление выпрямителя равно нулю; диоды идеальные.

Расчёт среднего напряжения нагрузки мостового выпрямителя выполнялся по формуле:

$$U_{н.ср} = \frac{2}{T} \int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} U_n(t) dt,$$

где $U_{н.ср}$ – среднее напряжение нагрузки, В; T – период напряжения, с; $U_n(t)$ – мгновенное напряжение нагрузки, В; α – момент открытия диода (аналог во временной области угла открытия диода), с.

Относительное напряжение нагрузки:

$$U_n = \sqrt{2} \frac{U_{н.ср}}{U_m} = \frac{U_{н.ср}}{U_{вх}} = \frac{2\sqrt{2}}{U_m T} \int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} U_n(t) dt \quad (10)$$

где U_n – относительное напряжение нагрузки; U_m – амплитуда входного напряжения выпрямителя, В; $U_{вх}$ – действующее значение входного напряжения выпрямителя, В.

Расчёт коэффициента пульсаций напряжения выполнялся по формулам:

$$k_p = \frac{U_{1.m}}{U_{н.ср}}$$

где k_p – коэффициент пульсаций напряжения; $U_{1.m}$ – амплитуда первой гармоники, В.

Расчёт амплитуды первой гармоники выполняется с помощью преобразования Фурье:

$$U_{1.m} = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$A = \frac{4}{T} \int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} \left(U_n(t) \cos\left(\frac{4\pi t}{T}\right) \right) dt$$

$$B = \frac{4}{T} \int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} \left(U_n(t) \sin\left(\frac{4\pi t}{T}\right) \right) dt$$

Для проверки результатов теоретических расчётов полученные зависимости проверялись с помощью математического имитационного моделирования [1; 4; 11; 19]. Моделирование выполнялось с помощью симулятора SimInTech (рис. 2).

Параметры элементов модели:

- источник входного сигнала (U) – $U_m = 100$ В (для того, чтобы можно было пренебречь падением напряжения на диодах по сравнению с входным напряжением);
- диод – с характеристиками диода 1N4004;
- сопротивление нагрузки $R = 200$ Ом;
- ёмкость фильтра $C = 10$ мкФ ... 0,1Ф.

Параметры расчёта: $h_{min} = 5 \cdot 10^{-6}$; $h_{max} = 10^{-4}$; $startstep = 0$; $intmet = RK45$; $starttime = 0$; $endtime = 10^9$; $relerr = 10^{-4}$; $abserr = 10^{-6}$; $tim_rel_error = 10^{-12}$; $synstep = 10^{-4}$.

Для оценки точности предложенных аппроксимирующих функций применялся коэффициент детерминации:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}; \quad SS_{tot} = \sum_i (Y_i - K)^2; \quad K = \frac{1}{k} \sum_i Y_i; \quad SS_{res} = \sum_i (Y_i - Y_a(X_i))^2$$

где R^2 – коэффициент детерминации; Y_i – экспериментальное значение функции при аргументе X_i ; k – количество измерений; $Y_a(X)$ – значение аппроксимирующей функции.

При расчёте коэффициента детерминации использовалось $k=100$ измерений во всём анализируемом интервале – $0,01 \leq \frac{t}{T} \leq 100$.

Для получения универсальных зависимостей среднего напряжения нагрузки и коэффициента пульсаций от характера нагрузки (которые можно распространить на цепи с разными амплитудами и частотами входных напряжений) все расчёты и результаты экспериментальных исследований приводились к относительным значениям – относительному напряжению нагрузки (см. формулу (10)) и отношению постоянной времени цепи нагрузки к периоду входного напряжения:

$$\frac{\tau}{T} = \frac{CR_H}{T} = CR_H f_c$$

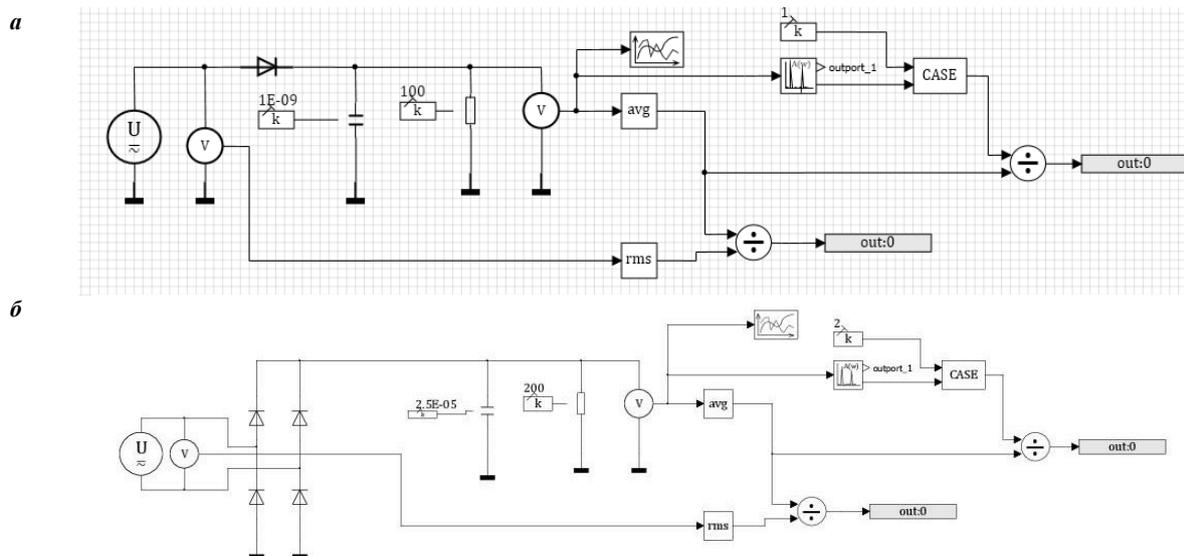


Рис.2. Модели исследуемых схем однополупериодного (а) и двухполупериодного (б) выпрямителей в программе SimInTech

Результаты исследований. Выходное напряжение исследуемой схемы (рис. 3) условно делится на: заряд конденсатора от сети через выпрямитель, и его разряд через сопротивление нагрузки.

Заряд конденсатора описывается выражением:

$$U_1(t) = |U_m \sin(2\pi f_c t)| \tag{11}$$

где $U_1(t)$ – выходное напряжение выпрямителя без фильтра, В.

Разряд конденсатора описывается выражением:

$$U_2(t) = U_1(\alpha) e^{-\frac{t-\alpha}{\tau}} = U_m \sin(2\pi f \alpha) e^{-\frac{t-\alpha}{\tau}} \tag{12}$$

$$\tau = CR_H$$

где $U_2(t)$ – выходное напряжение схемы во время разряда конденсатора, В; α - момент времени начала разряда конденсатора (аналог угла отключения диода, но во временной области), с; τ - постоянная времени цепи, с; C – ёмкость конденсатора, Ф; R_H – сопротивление нагрузки, Ом.

Разряд конденсатора происходит при закрытом диоде выпрямителя - в случае: $U_2(t) > U_1(t)$. Поэтому точка коммутации «А» (угол коммутации) соответствует моменту времени (α), начиная с которого будет выполняться указанное неравенство.

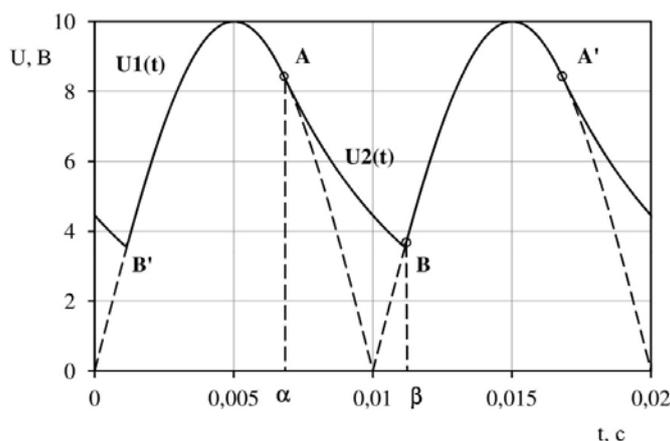


Рис. 3. Выходное напряжение однофазного мостового выпрямителя с ёмкостным фильтром

Уравнение (11) на интервале $\frac{T}{4} \leq t \leq \frac{T}{2}$ монотонно убывает, при повышении скорости убывания:

$$-\frac{dU_1(t)}{dt} = -U_m 2\pi f \cos(2\pi f t)$$

Функция (12) на указанном интервале времени монотонно убывает, но со снижением скорости:

$$-\frac{dU_2(t)}{dt} = \frac{U_m}{\tau} \sin(2\pi f \alpha) e^{-\frac{t-\alpha}{\tau}}$$

Точка коммутации соответствует моменту времени (α), в котором равны как указанные функции, так и их производные:

$$\begin{cases} U_1(\alpha) = U_2(\alpha) \\ \frac{dU_1(\alpha)}{d\alpha} = \frac{dU_2(\alpha)}{d\alpha}; U_m \omega \cos(\omega\alpha) = -\frac{U_m}{\tau} \sin(\omega\alpha) e^{-\frac{\beta-\alpha}{\tau}}; \alpha = \frac{\text{atg}(-\omega\tau) + \pi}{\omega}; \omega = 2\pi f_c \\ \frac{T}{4} \leq \alpha \leq \frac{T}{2} \end{cases}$$

Точка коммутации «В» соответствует точке пересечения функций $U_1(t)$ и $U_2(t)$ на интервале $\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} + \frac{T}{4}$ для мостовой схемы и на интервале $\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{5T}{4}$ для однополупериодной схемы. Точка коммутации для мостового выпрямителя находится из решения следующего уравнения:

$$\begin{aligned} |U_m \sin(\omega\beta)| &= U_m \sin(\omega\alpha) e^{-\frac{\beta-\alpha}{\tau}} \\ \frac{\beta - \alpha}{\tau} &= -\ln \frac{\sin(\omega\beta)}{\sin(\omega\alpha)} \\ \frac{T}{2} \leq \beta &\leq \frac{3T}{4} \end{aligned}$$

Точка коммутации однополупериодного выпрямителя находится из решения уравнения:

$$\begin{aligned} U_m \sin(\omega\beta) &= U_m \sin(\omega\alpha) e^{-\frac{\beta-\alpha}{\tau}} \\ \frac{\beta - \alpha}{\tau} &= -\ln \frac{\sin(\omega\beta)}{\sin(\omega\alpha)} \\ \frac{T}{2} \leq \beta &\leq \frac{5T}{4} \end{aligned}$$

Эти уравнения аналитически не разрешимы, поэтому применим численные методы.

Таким образом, напряжение нагрузки мостового выпрямителя описывается следующим образом:

$$\begin{aligned} U_H(t) &= \begin{cases} U_1(t), \text{ при } U_1(t) \geq U_2(t) \\ U_2(t), \text{ при } U_1(t) < U_2(t) \end{cases} \\ &\alpha \leq t < \alpha + \frac{T}{2} \\ U_H(t) &= \begin{cases} |U_m \sin(\omega t)|, \text{ при } \beta - \frac{T}{2} \leq t < \alpha \\ U_m \sin(\omega\alpha) e^{-\frac{t-\alpha}{\tau}}, \text{ при } \alpha \leq t < \beta \\ \alpha = \frac{\text{atg}(-\omega\tau) + \pi}{\omega} \end{cases} \end{aligned}$$

Для однополупериодного выпрямителя:

$$U_H(t) = \begin{cases} U_1(t), \text{ при } U_1(t) \geq U_2(t) \\ U_2(t), \text{ при } U_1(t) < U_2(t) \\ \alpha \leq t < \alpha + T \end{cases}$$

Сравнение полученных зависимостей с известными формулами (1), (3) и (5) показывает, что формулы (1) и (3) справедливы лишь для малых значений постоянной времени цепи $-\frac{\tau}{T} < 0,03$, а формула (5) описывает исследуемые процессы при $\frac{\tau}{T} > 100$. Для диапазона $0,03T \leq \tau \leq 100T$ аналитических зависимостей в литературе найти не удалось, хотя, именно в этом интервале работает большое количество реальных схем.

Для определения зависимости напряжения нагрузки от параметров нагрузки авторами выведена эмпирическая зависимость вида:

$$y(x) = a \left(1 - \frac{b-1}{\sqrt[n]{(c \cdot x)^n + b^n}} \right) \quad (13)$$

При значении $x \rightarrow 0$ $y(x) \rightarrow \frac{a}{b}$; при значении $x \rightarrow \infty$ $y(x) \rightarrow a$. Для исследуемой зависимости напряжения нагрузки мостового выпрямителя справедливо следующее:

$$U_H(0) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}; U_H(\infty) = \sqrt{2}.$$

Поэтому для выбранной аппроксимирующей функции $a = \sqrt{2}$; $b = \frac{a}{U_H(0)} = \frac{\pi}{2}$. В результате получим следующую эмпирическую зависимость:

$$U_H\left(\frac{\tau}{T}\right) = \sqrt{2} \left(1 - \frac{\frac{\pi}{2} - 1}{\sqrt[n]{\left(c \frac{\tau}{T}\right)^n + \left(\frac{\pi}{2}\right)^n}} \right)$$

Коэффициенты «n» и «c» подберём методом последовательного приближения таким образом, чтобы максимизировать точность аппроксимации (коэффициент детерминации). В результате получена следующая зависимость (рис. 4) с точностью аппроксимации $R^2 = 0,999$:

$$U_H\left(\frac{\tau}{T}\right) = \sqrt{2} \left(1 - \frac{\frac{\pi}{2} - 1}{\sqrt[1,26]{\left(2,83\frac{\tau}{T}\right)^{1,26} + \left(\frac{\pi}{2}\right)^{1,26}}} \right) \quad (14)$$

Аналогично получим аппроксимирующую зависимость для однополупериодного выпрямителя с точностью аппроксимации $R^2 = 0,999$:

$$U_H\left(\frac{\tau}{T}\right) = \sqrt{2} \left(1 - \frac{\pi - 1}{\sqrt[1,43]{\left(5,67\frac{\tau}{T}\right)^{1,43} + (\pi)^{1,43}}} \right) \quad (15)$$

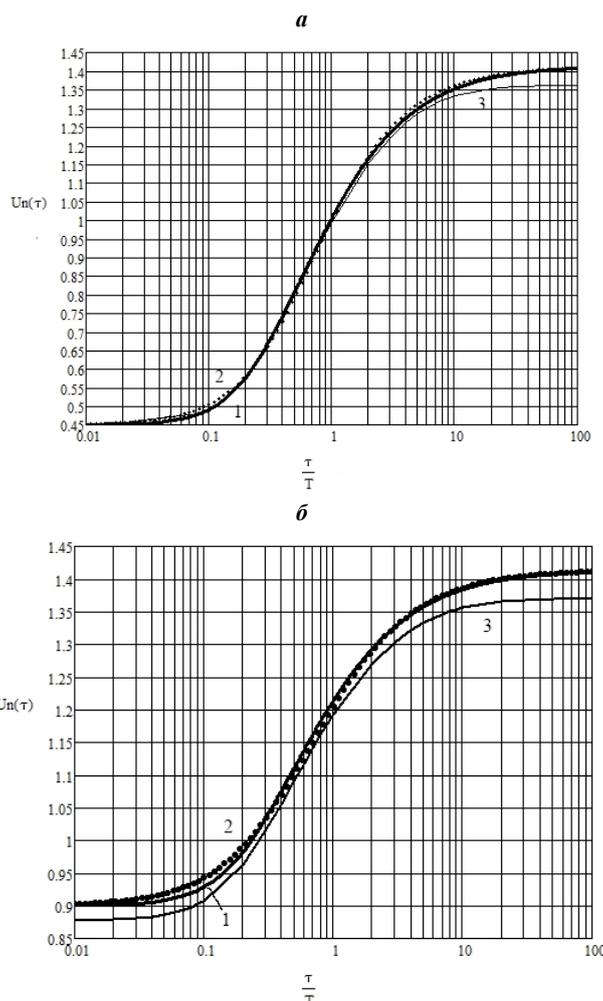


Рис. 4. Теоретически рассчитанная (1), эмпирическая (2) и экспериментальная (3) зависимости относительного напряжения нагрузки от постоянной времени цепи однополупериодного (а) и мостового (б) выпрямителей с ёмкостным фильтром

Проверка результатов расчётов выполнялась в программе *SimInTech*. Из рис.4 следует, что расчётные диаграммы, полученная аппроксимирующая функция и результаты модельного эксперимента практически совпадают за исключением меньшего значения напряжения нагрузки на величину падения напряжения на диодах.

Сравнение результатов расчётов зависимости коэффициента пульсаций напряжения нагрузки от постоянной времени цепи с известными формулами (2), (4), (6) – (9) показывает, что формулы (2) и (4) применимы только для случая больших токов или при отсутствии фильтра. Формулы (6), (8), (9) могут применяться при $\tau > 10T$. Формула (7) может использоваться во всём диапазоне τ , но её точность достаточно низкая - $R^2 = 0,62$.

Для получения более точной зависимости коэффициента пульсаций от постоянной времени цепи для мостового выпрямителя была использована зависимость вида (13), с учётом следующего:

$$K_n(0) = \frac{2}{3}; K_n(\infty) = 0.$$

Поэтому зависимость (13) модифицируется до следующего вида:

$$K_n\left(\frac{\tau}{T}\right) = \frac{\frac{2}{3}}{n \sqrt{\left(c \frac{\tau}{T}\right)^n + 1}}$$

Коэффициенты «n» и «с» подберём методом последовательного приближения таким образом, чтобы максимизировать точность аппроксимации (коэффициент детерминации). В результате получена следующая зависимость (рис. 5) с точностью аппроксимации $R^2 > 0,999$:

$$K_n\left(\frac{\tau}{T}\right) = \frac{\frac{2}{3}}{1,85 \sqrt{\left(4,6 \frac{\tau}{T}\right)^{1,85} + 1}} \quad (16)$$

Аналогично для однополупериодного выпрямителя получим с точностью аппроксимации $R^2 > 0,999$:

$$K_n\left(\frac{\tau}{T}\right) = \frac{\frac{\pi}{2}}{1,85 \sqrt{\left(4,6 \frac{\tau}{T}\right)^{1,85} + 1}} \quad (17)$$

Проверка результатов расчётов также выполнялась в программе *SimInTech*. Из рис.5 следует, что расчётные диаграммы, полученная аппроксимирующая функция и результаты модельного эксперимента совпадают с точностью более 99,9%.

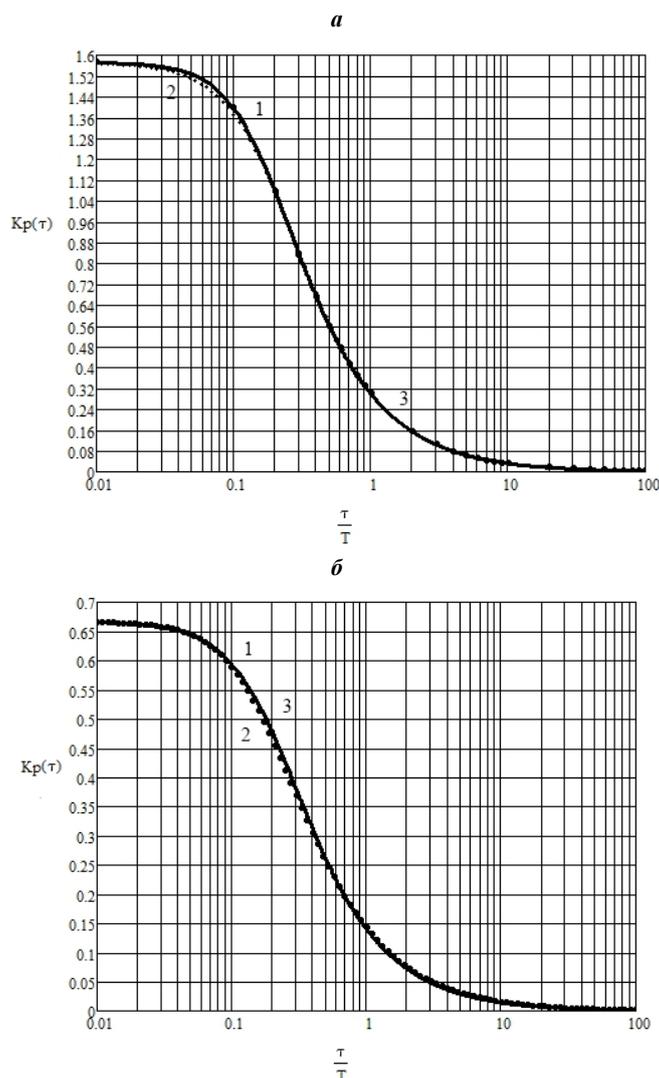


Рис. 5. Теоретическая (1), эмпирическая (2) и экспериментальная (3) зависимости коэффициента пульсаций напряжения нагрузки от постоянной времени цепи однополупериодного (а) и мостового (б) выпрямителей с ёмкостным фильтром

Заключение.

1. Среднее напряжение нагрузки и коэффициент пульсаций напряжения нагрузки значительно зависят от постоянной времени цепи нагрузки выпрямителя с ёмкостным фильтром. Наибольшие изменения указанных показателей происходят в диапазоне $0,01T < \tau < 10T$.

2. Аналитический расчёт зависимостей среднего значения напряжения нагрузки и коэффициента пульсаций от ёмкости фильтра представляется сложной задачей. Приводимые в литературе эмпирические формулы указанных зависимостей имеют очень низкую точность аппроксимации и применимы лишь для условий работы схемы, близких либо к холостому ходу, либо к короткому замыканию. Это обуславливает непригодность существующих формул для расчёта значительного количества реальных выпрямителей с ёмкостным фильтром.

3. Полученные эмпирические зависимости среднего напряжения нагрузки (14), (15) и коэффициента пульсаций напряжения нагрузки (16), (17) от постоянной времени цепи с точностью аппроксимации не менее 0,999 могут быть применены для расчёта цепей однополупериодных и двухполупериодных однофазных выпрямителей с ёмкостным фильтром с любыми значениями постоянной времени цепи.

4. Использование в полученных формулах вместо постоянной времени цепи (τ) относительного значения этого параметра ($\frac{\tau}{T}$) позволяет применять указанные формулы для расчёта цепей с разной частотой сети.

Список литературы

1. Ахрамович С.А. Использование среды динамического моделирования технических систем SimInTech в задачах полунатурного моделирования / С. А. Ахрамович, А. В. Сычев, А. М. Колпаков, Е. А. Пономарев // Системный анализ, управление и навигация : Тезисы докладов, Евпатория, 30 июня – 07 2019 года. – Евпатория: Издательство МАИ-Принт, 2019. – С. 71-73. – EDN LPOEUN.
2. Бладыко Ю. В. Сглаживающие фильтры // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2010. № 2. С. 36-40. EDN SWKDUV.
3. Богданович Б., Ваксер Э. Краткий радиотехнический справочник. Минск: Беларусь, 1968. 560 с.

4. Болдырев В.В. Разработка интеллектуального модуля управления автоматизированной автономной системой энергообеспечения / В. В. Болдырев, М. А. Горькавый // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. № 3(43). С. 9-18. EDN HMGNWQ.
5. Борисов П.А. Расчет и моделирование выпрямителей Учебное пособие по курсу. Элементы систем автоматики : учебное пособие / П. А. Борисов, В. С. Томасов. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, Часть I, 2009. 169 с.
6. Бурков А.Т. Электроника и преобразовательная техника. Т. 2: Электронная преобразовательная техника: Учебник. Москва: УМЦ ЖДТ, 2015. 307 с.
7. Воронцов И.Н. Моделирование в SIMINTECH устройств силовой электроники / И. Н. Воронцов, И. С. Ситников // Материалы 76-й студенческой научной конференции, Брянск, 25 марта 2021 года. Брянск: Брянский государственный технический университет, 2021. С. 597-598. EDN LDYHFM.
8. Гейтенко Е.Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет / Е.Н. Гейтенко. - Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2016. 448 с.
9. Егоров В.А. Микроконтроллерная система управления автономным инвертором с упрощённой пространственно-векторной широтно-импульсной модуляцией / В. А. Егоров, Ю. Г. Егорова, Е. В. Плотников // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. № 3(43). С. 36-42. EDN HHYVDE.
10. Ефимов И.П. Источники питания РЭА: Учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2002. 136 с.
11. Иванов С.Н. Анализ электромеханических систем методами имитационного моделирования / С. Н. Иванов, К. К. Ким, А. А. Просолович, М. И. Хисматулин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 3(51). С. 29-38. DOI 10.17084/20764359-2021-51-29. EDN CLTWBH.
12. Иванов С.Н. Теоретические основы математического моделирования процессов преобразования мощности в совмещенных энергетических устройствах / С.Н. Иванов, К.К. Ким, О.В. Приходченко, А.А. Просолович // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. Т. 1, № 1(41). С. 37-44. EDN AKBSNQ.
13. Климаш В.С. Разработка конденсаторных установок и способа регулирования реактивной мощности в системах промышленного электроснабжения / В. С. Климаш, Б. Д. Табаров // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2022. № 1(57). С. 7-14. DOI 10.17084/20764359-2022-57-7. EDN SLMLUK.
14. Коновалов Б.И. Основы преобразовательной техники : учебно-методическое пособие / Б. И. Коновалов, В. С. Мишуrow, В. Д. Семенов. Москва: ТУСУР, 2006. 97 с.
15. Ллойд П. Справочник по полупроводниковой электронике: справочное издание. М.: Машиностроение, 1975. 508 с.
16. Петров А. Трансформаторы, выпрямители, фильтры. [Электронный ресурс] URL: https://www.radioradar.net/hand_book/documentation/tran.html#5 (дата обращения: 22.02.2024).
17. Романов В.П. Электропитание средств вычислительной техники: Учебно-методический комплекс. Новокузнецк: ФГОУ СПО «Кузнецкий индустриальный техникум», 2008. 94 с.
18. Сажнев А.М., Рогулина Л.Г. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций. Сборник примеров и задач: учебное пособие. Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2012. 267 с.
19. Сочелев А.Ф. Математическая модель регулятора переменного напряжения с вольтодобавочным каналом // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2019. Т. 1, № 3(39). С. 27-37. EDN GPKIZN.
20. Фролов А.В. Исследование особенностей работы однополупериодного выпрямителя на ёмкостную нагрузку / А. В. Фролов, Н. Ю. Грунина // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2022. Т. 25, № 4. С. 134-139. DOI 10.21293/1818-0442-2022-25-4-134-139. EDN YFUBPX.
21. Челухин В.А. Оценка эффективности использования перепада температур день-ночь для целей энергетики / В. А. Челухин, Е. В. Абрамсон, М. С. Кружаев // Промышленная энергетика. 2018. № 6. С. 45-49. EDN XUSBKP.
22. Челухин В.А. Преобразователь энергии суточного перепада температур для электроснабжения удаленных сельскохозяйственных объектов / В. А. Челухин, А. В. Васильев, Е. В. Абрамсон [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, № 2(47). С. 54-58. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-2-54-58. EDN SDGETD.
23. Челухин В. А. Электротепловой преобразователь низкопотенциальной энергии перепада температур / В. А. Челухин, Е. В. Абрамсон // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2014. № 4(35). С. 93-98. EDN TEQRGR.

Фролов Алексей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент, Afrolov.kms@mail.ru, Россия, Комсомольск-на-Амуре, Комсомольский-на-Амуре государственный университет,

Овчаренко Пётр Алексеевич, студент, peit@knastu.ru, Россия, Комсомольск-на-Амуре, Комсомольский-на-Амуре государственный университет,

Васильев Александр Владимирович, аспирант, astrgan@gmail.com, Россия, Комсомольск-на-Амуре, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

SINGLE-PHASE RECTIFIERS WITH A CAPACITIVE FILTER OPERATION FEATURES

A.V. Frolov, P.A. Ovcharenko, A.V. Vasilev

The article presents the results of theoretical calculations and SimInTech modeling of the half-wave and full-wave rectifiers with a capacitive filter. The average value and load voltage ripple factor dependences on the filter capacitance and load resistance were studied. It is shown that the known analytical dependences have a very limited application

area and a low value of approximation accuracy (no more than 0,6). Approximating functions have been developed to describe the above dependencies with an approximation accuracy of at least 0,999.

Key words: Rectifier, capacitive filter, SimInTech, average load voltage, ripple factor.

Frolov Aleksei Valerevich, candidate of technical sciences, docent, Afrolov.kms@mail.ru, Russia, Komsomolsk-on-Amur, Komsomolsk-na-Amure State University,

Ovcharenko Petr Alekseevich, student, peit@knastu.ru, Russia, Komsomolsk-on-Amur, Komsomolsk-na-Amure State University,

Vasilev Aleksandr Vladimirovich, postgraduate, astrgan@gmail.com, Russia, Komsomolsk-on-Amur, Komsomolsk-na-Amure State University

УДК 621.314.57; 629.33.03-83

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-353-354

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ СОВМЕЩЕННОЙ ТОПОЛОГИИ ТЯГОВОГО ИНВЕРТОРА И УСТРОЙСТВА УСКОРЕННОГО ЗАРЯДА

А.Г. Грищенко, К.М. Сидоров, Б.Н. Сидоров, В.Н. Козловский

Развитие перспективных транспортных средств с электрическим приводом – электромобилей и подключаемых гибридных автомобилей – неразрывно связано с развитием зарядной инфраструктуры. Мощные трехфазные сети доступны уже сегодня там, где станции ускоренного заряда появятся еще не скоро или не появятся вовсе. В этой связи актуальным является расширение базовых функций тяговых инверторов. Объединение задач управления электрической машиной и заряда тяговой батареи при максимальной мощности, но с использованием общей элементной базы, может являться экономически эффективным решением указанной проблемы. В настоящей работе представлены результаты практической реализации подобного технического решения в тяговом преобразователе напряжения с интегрированным зарядным устройством.

Ключевые слова: преобразователь напряжения, инвертор, зарядное устройство, интеграция, электромобиль.

Система тягового электрооборудования транспортных средств с электрическим приводом, как правило, включает комплекс отдельных преобразователей напряжения, в том числе тяговый инвертор для управления электрической машиной и бортовое устройство для заряда тягового источника тока. Данные компоненты имеют своё функциональное предназначение и являются автономными. В отличие от тягового преобразователя напряжения (инвертора), бортовое зарядное устройство в режимах движения и остановок транспортного средства при эксплуатации не используется и является узлом, фактически бесполезно загружающим транспортное средство. Кроме того, мощность таких зарядных устройств не обеспечивает быстрого заряда тяговых источников тока, что снижает эксплуатационные показатели электромобилей и затрудняет использование последних для поездок на значительные расстояния. Указанные обстоятельства обуславливают, с одной стороны, актуальность вопросов улучшения массогабаритных показателей системы тягового и энергетического электрооборудования, повышения энергетической эффективности и эксплуатационных показателей электрических транспортных средств, с другой – повышают требования к зарядной инфраструктуре, доступность и уровень которой ограничены. Решение указанных проблем может быть осуществлено за счет оптимизации системы тягового электрооборудования и реализации многофункциональных схемных решений [1 – 5]. В настоящей работе представлены технические решения по объединению функций управления тяговым электродвигателем переменного тока и заряда бортовой высоковольтной батареи транспортного средства с использованием единой элементной базы и общей силовой цепи, описана конструкция тягового преобразователя напряжения с интегрированным зарядным устройством (ТПН с ИЗУ) [6 – 8].

Схемное исполнение и принцип действия ТПН с ИЗУ. Сущность технического решения для последующей практической реализации отражает представленная на рис. 1 принципиальная электрическая схема ТПН с ИЗУ [6 – 8].

Тяговый преобразователь напряжения с интегрированным зарядным устройством содержит:

- зарядный преобразователь, реализованный с использованием транзисторно-диодного модуля (Т7, D7, D8) и фильтра L1-C1;

- шестиключевой (Т1-Т6) автономный инвертор напряжения;
- коммутационное переключающее устройство (S1-S3);
- блок управления.

Коммутационное переключающее устройство содержит три силовых переключающих контакта. В зависимости от режима работы ТПН с ИЗУ контакты S1-S3 обеспечивают электрическое подключение фаз А1, В1, С1 тяговой электрической машины М1 или фаз А2, В2, С2 внешнего трехфазного источника переменного тока к силовым фазным выводам А0, В0, С0 инвертора.

ТПН с ИЗУ содержит силовой вывод минусовой шины постоянного тока инвертора DC2 для возможности подключения к внешнему источнику постоянного тока с целью заряда тяговой аккумуляторной батареи. В этом случае фазные выводы А2, В2, С2 коммутационного переключающего устройства объединяются в одну общую точку и подключаются к положительному полюсу источника постоянного тока [7]. Электрические схемы коммутационного устройства ТПН с ИЗУ для использования с внешним источником переменного и постоянного тока представлены на рис. 2.

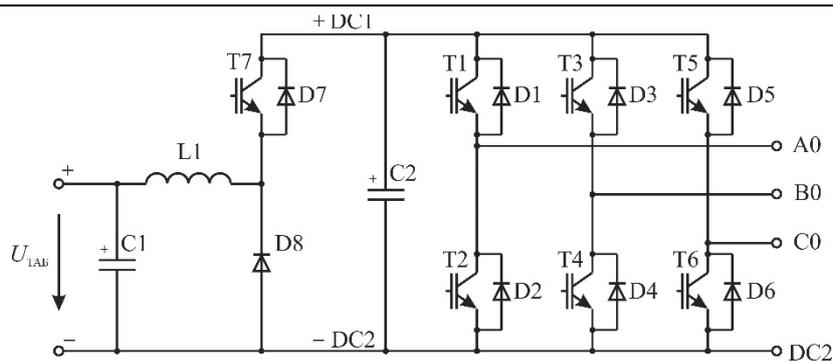


Рис. 1. Электрическая схема силовой цепи ТПН с ИЗУ

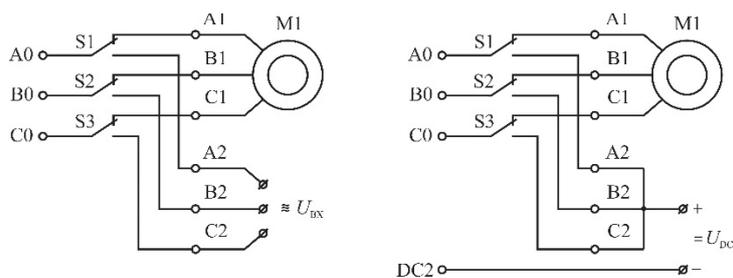


Рис. 2. Электрические схемы коммутационного устройства ТПН с ИЗУ для использования с внешним источником переменного и постоянного тока

ТПН с ИЗУ в тяговом режиме работает по классической схеме. В режиме электрического торможения зарядный преобразователь может функционировать в двух режимах: режиме полностью открытого полупроводникового ключа Т7 или режиме широтно-импульсного регулирования заряда накопителя электроэнергии. Для устранения дополнительных потерь в тяговом режиме работы ТПН с ИЗУ транзисторно-диодный модуль Т7-D7 может быть зашунтирован силовым контактором, например, входящим в состав блока силовой коммутации электромобиля [7].

Во время стоянки транспортного средства для восполнения заряда тягового накопителя электроэнергии осуществляется подключение внешнего трехфазного источника переменного тока к фазным выводам А2, В2, С2 коммутационного переключающего устройства. В режиме заряда с помощью полупроводниковых диодов D1...D6 инвертора осуществляется выпрямление трехфазного переменного напряжения $U_{вх}$ внешнего источника. В результате обеспечивается преобразование выпрямленного напряжения внешнего источника в постоянное напряжение для заряда тягового накопителя электроэнергии заданной величины и регулировка зарядного тока. Схемное исполнение и принцип работы ТПН с ИЗУ не исключают режим регулирования заряда тягового накопителя электроэнергии при помощи коммутации полупроводниковых ключей Т1...Т6 инвертора [7, 9].

Представленное схемное решение отличают: возможность работы с электрическими машинами переменного тока различного типа и исполнения, относительная простота программной и аппаратной реализации алгоритма преобразования энергии, возможность использования для заряда тягового накопителя электроэнергии трехфазных сетей переменного тока без дополнительных преобразований напряжения, увеличение мощности и скорости заряда тягового накопителя электроэнергии транспортного средства в сравнении с бортовыми зарядными устройствами.

Конструкция ТПН с ИЗУ. Одними из важных условий создания эффективного и надежного преобразователя напряжения являются: оптимальный температурный режим работы компонентов; минимизированные значения активных сопротивлений, а также индуктивностей рассеяния батареи конденсаторов и шин постоянного тока; минимально возможная длина цепей управления транзисторами; компактность конструкции преобразователя и эффективное использование свободного пространства в корпусе. Указанные критерии учтены в предлагаемой конструкции ТПН с ИЗУ. Конструкция ТПН с ИЗУ представлена на рис. 3 и 4.

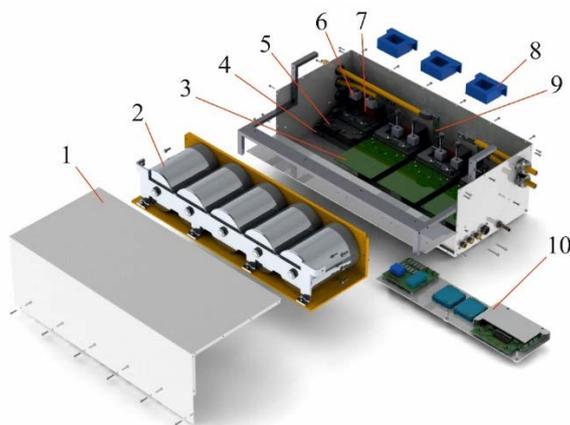


Рис. 3. Трехмерная модель ТПН с ИЗУ с разнесенными частями

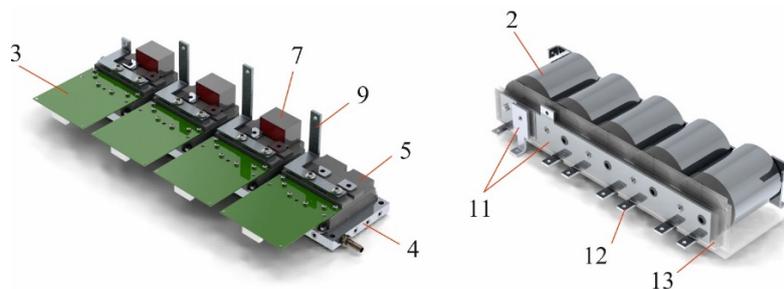


Рис. 4. Конструкция силового блока и батареи фильтрующих конденсаторов ТПН с ИЗУ

Устройство имеет сборный металлический корпус 1. В отсеке корпуса силовой электроники размещены: силовые транзисторно-диодные модули 5, установленные на охладителе 4; драйверы 3 силовых полупроводниковых транзисторно-диодных модулей, установленные непосредственно на управляющих выводах последних; защитные конденсаторы 7, силовые шины постоянного тока, силовые фазные шины 9, токопроводящие стойки 6, датчики тока 8, силовые фильтрующие конденсаторы 2. Электронный блок управления 10 расположен под драйверами силовых полупроводниковых транзисторно-диодных модулей в экранированной части отсека силовой электроники и имеет минимальную длину цепей управления для коммутации транзисторов полупроводниковых модулей.

Положительные и отрицательные силовые выводы конденсаторов электрически соединены соответственно с положительной и отрицательной силовыми шинами 11 постоянного тока (см. рис. 4). При этом силовые шины выполнены в виде отдельных токопроводящих пластин, изолированных между собой изоляторами 13. Каждая из токопроводящих пластин имеет ряд электродов, отогнутых под прямым углом к плоскости пластины и представляющих собой контактные площадки 12 для установки на токопроводящие стойки 6 и выводы полупроводниковых модулей.

Описанные в настоящей статье технические решения по схемному и конструктивному исполнению тягового преобразователя реализованы в экспериментальном образце изготовленного ТПН с ИЗУ. Изготовленный ТПН с ИЗУ показан на рис. 5. С целью практической оценки эффективности реализованных технических решений, а также функциональных преимуществ изготовленного образца, проведены экспериментальные исследования ТПН с ИЗУ в основных режимах работы последнего.

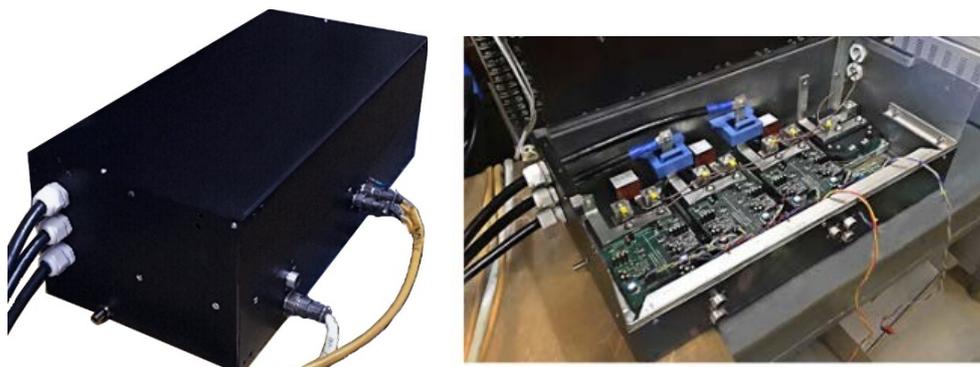


Рис. 5. Изготовленный экспериментальный образец ТПН с ИЗУ

Результаты экспериментальных исследований. Основной задачей исследовательских испытаний является практическая (экспериментальная) оценка функциональных и параметрических характеристик ТПН с ИЗУ посредством прямого и косвенного измерения входных и выходных показателей работы системы тягового электрического привода. Испытания ТПН с ИЗУ осуществлялись с использованием специально оборудованного стенда, включающего: нагрузочные агрегаты, устройства управления, модуль аккумуляторной батареи электромобиля, измерительную и регистрирующую аппаратуру. Источником энергии при проведении стендовых испытаний ТПН с ИЗУ в тяговом режиме являлась трехфазная сеть с последующим выпрямлением переменного напряжения в постоянное для питания преобразователя. В режиме заряда источником энергии выступала трехфазная сеть общего электроснабжения. В тяговом режиме нагрузка ТПН с ИЗУ обеспечивалась асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором и динамометрическим нагрузочным устройством, тогда как в режиме заряда функцию нагрузки выполнял модуль литий-ионной аккумуляторной батареи электромобиля.

На рис. 6 и 7 изображены результаты оценки работы ТПН с ИЗУ в характерных режимах работы, в том числе: входной и выходной ток в тяговом режиме при разгоне электродвигателя, ток и напряжение аккумуляторного модуля в режиме заряда с использованием трехфазной сети. В ходе исследовательских испытаний реализован трехступенчатый алгоритм заряда модуля литий-ионной аккумуляторной батареи постоянным током с переходом в режим заряда при постоянном напряжении. Указанный алгоритм, в сравнении с традиционными способами заряда, обеспечивает увеличение срока службы аккумуляторов при относительно низком времени восполнения энергии [8].

Рис. 8 демонстрирует изменение температуры охлаждающей жидкости в процессе исследовательских испытаний ТПН с ИЗУ с длительным поддержанием максимального фазного тока.

В ходе экспериментальных исследований для изготовленного образца ТПН с ИЗУ достигнуты следующие функциональные характеристики:

- на одной компонентной базе реализованы два режима - тяговый режим и трехступенчатый режим заряда аккумуляторной батареи;

- подтверждена эффективность реализованной системы охлаждения преобразователя;
- максимальный выходной действующий фазный ток – 355 А;
- номинальное входное напряжение – 540 В;
- максимальный ток заряда 50 А, ограниченный значением максимального зарядного тока модуля аккумуляторной батареи электромобиля.

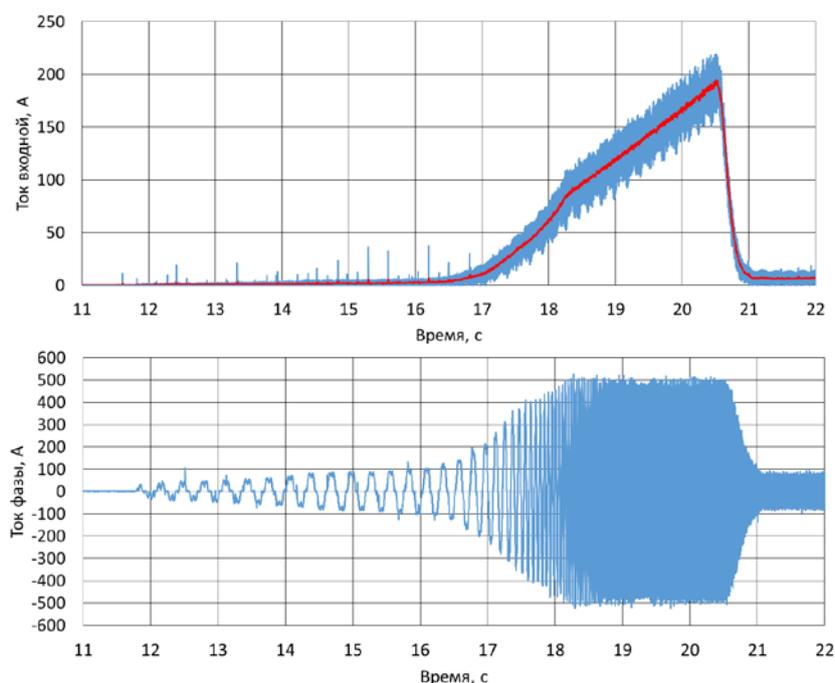


Рис. 6. Изменение входного и выходного тока ТПН с ИЗУ в процессе разгона тягового электродвигателя

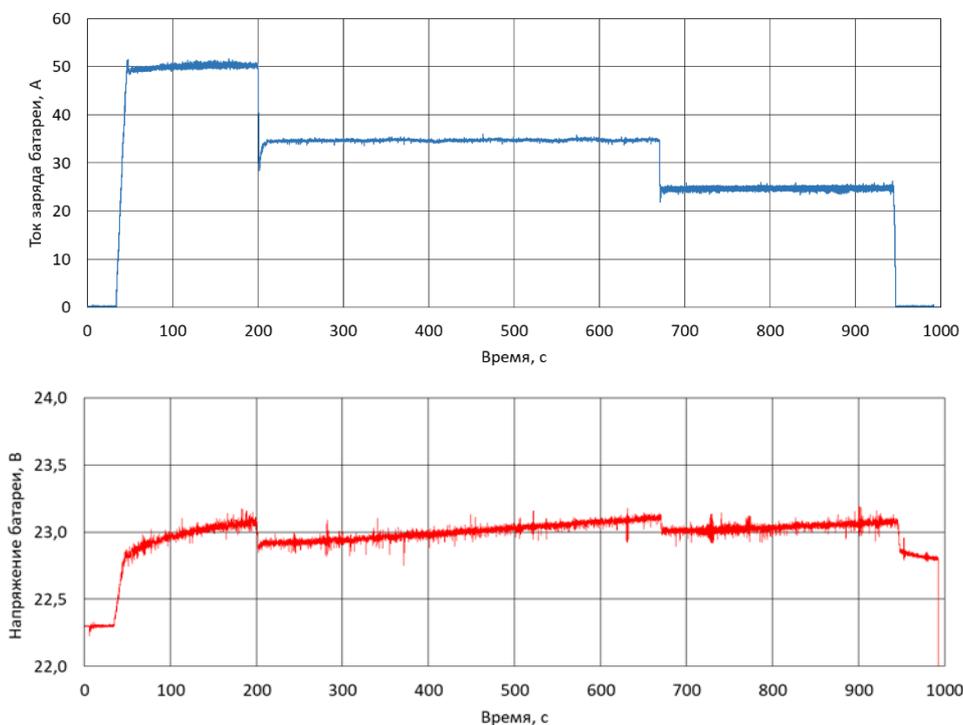


Рис. 7. Изменение тока и напряжения аккумуляторного модуля в процессе заряда с использованием ТПН с ИЗУ

Заключение. Использование традиционных бортовых зарядных устройств определяет существенное ограничение мощности заряда и, как следствие, увеличение продолжительности данного процесса. Указанный недостаток устраняется при эксплуатации стационарных зарядных устройств постоянного тока. Однако внедрение таких зарядных станций непростая задача и на ближайшую перспективу сложно говорить о повсеместном использовании станций ускоренного заряда. В этой связи актуальным является расширение базовых функций тяговых преобразователей напряжения (инверторов).

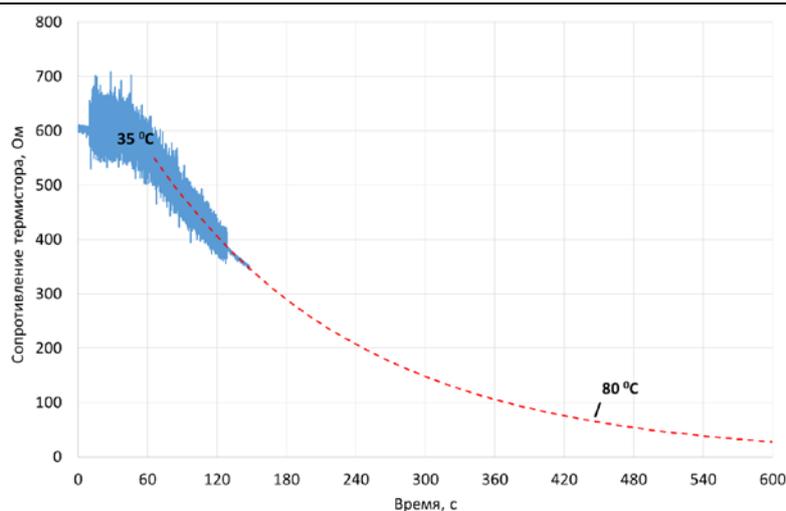


Рис. 8. Изменение сопротивления датчика температуры охлаждающей жидкости в процессе нагрузочных испытаний

Результатом представленных в настоящей работе технических решений в отношении ТПН с ИЗУ является обеспечение ускоренного заряда бортового накопителя электрической энергии транспортного средства при значениях мощности, эквивалентных мощности тягового инвертора при одновременном улучшении массогабаритных показателей системы тягового электрооборудования, повышении эксплуатационных показателей транспортного средства и снижении нагрузки на зарядную инфраструктуру. Представленные результаты практической реализации указанных решений в экспериментальном образце ТПН с ИЗУ подтверждают возможность объединения нескольких функций в единой конструкции преобразователя без ущерба для эксплуатационных характеристик последнего.

Список литературы

1. Lacroix S., Laboure E., Hilairat M. An integrated fast battery charger for electric vehicle // 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. 01 – 03 Sept. 2010. Lille, France. P. 1 – 6.
2. Sakr N., Sadarnac D., Gascher A. A review of on-board integrated chargers for electric vehicles // 2014 16th European Conference on Power Electronics and Applications. 26 – 28 Aug. 2014. Lappeenranta, Finland. P. 1 – 10.
3. Su G., Tang L. Current source inverter based traction drive for EV battery charging applications // 2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. 06 – 09 Sept. 2011. Chicago, USA. P. 1 – 6.
4. Subotic I., Bodo N., Levi E., Dumnic B., Milicevic D., Katic V. A. Overview of fast on-board integrated battery chargers for electric vehicles based on multiphase machines and power electronics // IET Electric Power Applications. 2016. V. 10, Iss. 3. P. 217 – 229.
5. Ma M., Chang Z., Hu Y., Li F., Gan C., Cao W. An integrated switched reluctance motor drive topology with voltage-boosting and on-board charging capabilities for plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) // IEEE Access. 2018. V. 6 P. 1550 – 1559.
6. Sidorov K.M., Grishchenko A.G., Sidorov B.N. Traction inverter with integrated charger: practical realisation and experimental study // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 643 (012031). P. 1 – 7.
7. Патент 175680 РФ. Тяговый преобразователь напряжения с интегрированным зарядным устройством / К.М. Сидоров, А.Г. Грищенко, Б.Н. Сидоров. Опубл. 14.12.17. Бюл. № 35.
8. Грищенко А.Г. Тяговый инвертор с интегрированным зарядным устройством для электромобильного транспорта: дис. ... канд. техн. наук. Самара, 2022. 188 с.
9. Козловский, В.Н. Надежность системы электрооборудования легкового автомобиля / В.Н. Козловский, В.Е. Ютт // Электроника и электрооборудование транспорта. 2008. № 3. С. 37-40.

Грищенко Александр Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент, alex.g182@yandex.ru, Россия, Москва, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),

Сидоров Кирилл Михайлович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, k.sidorov@bk.ru, Россия, Москва, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),

Сидоров Борис Николаевич, д-р техн. наук, профессор, electromadi@mail.ru, Россия, Москва, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),

Козловский Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет

EXPERIMENTAL SURVEY OF THE TRACTION INVERTER AND CHARGER INTEGRATED SOLUTION

A.G. Grishchenko, K.M. Sidorov, B.N. Sidorov, V.N. Kozlovsky

Development of advanced EVs and plug-in HEVs is closely connected to the charging infrastructure development. There are powerful three-phase networks available in places where supercharger stations are not expected anytime

soon or are not expected at all. Thus, the extension of basic traction inverter functions is a topical issue. The unifying the EV and traction battery charge control tasks using the peak power and single hardware components can become an economically efficient solution of the discussed issues. In order to resolve the stated issues, it is necessary to optimize the traction electric equipment system and implement some multifunctional circuit designs. This work provides the practical realisation of such circuit design in relation to a traction inverter with integrated charger.

Key words: voltage converter, inverter, charger, integration, electric vehicle.

Aleksandr Gennadievich Grishchenko, candidate of technical sciences, docent, alex.g182@yandex.ru, Russia, Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),

Kirill Mikhailovich Sidorov, candidate of technical sciences, docent, head of department, k.sidorov@bk.ru, Russia, Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),

Boris Nikolaevich Sidorov, doctor of technical sciences, professor, electromadi@mail.ru, Russia, Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),

Kozlovsky Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, head of the department, kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University

УДК 620.92

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-358-359

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГРАММЫ КОНТРОЛЯ НАГРУЗКИ ПО ТРЁМ СИСТЕМАМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ГИБРИДНОГО АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

П.Н. Трофимович

На сегодняшний день технологии получения энергии на основе использования возобновляемых источников являются перспективным и важным источником энергии. Однако, любое производство, в том числе и получение энергии на основе использования возобновляемых источников, не обходится без каких-либо негативных последствий. Для возобновляемых источников энергии – это утилизация отходов технологий возобновляемой энергетики. Потенциальное количество отходов зелёной энергетики огромно. Так ожидается, что к 2050 году количество отработанных солнечных панелей достигнет 78 миллионов тонн. Исследовательский проект Re-Wind, приводит данные, что к 2050-му году к утилизации будут ждать уже 40 млн тонн композитов лопастей ветрогенераторов, переработка которых на сегодня не представляется возможной. Для решения указанных проблем предлагается технология получения энергии на основе использования перепада температур между днём и ночью. В среднем этот перепад колеблется в пределах от 4 °C до 15 °C и более. Воздействие такого изменения температуры на различные материалы вызывает изменение их физического состояния, в частности линейных размеров, что можно использовать для получения энергии. В то же время, утилизация отходов устройств такой технологии не представляет опасности и проблем, поскольку здесь отсутствуют токсические материалы, радиоактивные вещества и опасные включения. Однако, связи с тем, что исследования в области получения энергии с помощью перепада температур ранее не проводились, то поэтому тема исследования, является актуальной и своевременной. С этой целью Разработан алгоритм программы непрерывного контроля нагрузки по трём системам энергоснабжения гибридного автономного электротехнического комплекса с использованием возобновляемых источников энергии с системой преобразования энергии перепада температур окружающей среды день – ночь в течении суток. Непрерывный контроль по всем трём системам энергоснабжения уровня нагрузки даёт возможность поддерживать энергоснабжение потребителей вне зависимости от природных факторов и сберечь ресурсы механических частей ветросистемы.

Ключевые слова: гибридный комплекс, система управления, перепад температур, энергоснабжение, преобразователь энергии, программа, алгоритм.

Сегодня все больше интереса проявляется к возобновляемым и экологически чистым источникам энергии. А также по-прежнему остаётся проблемой электроснабжение в районах, где нет централизованного электроснабжения.

Для этих целей в последнее время применяются гибридные электростанции с использованием возобновляемых источников энергии, энергии солнца и ветра.

Согласно стандарта России ГОСТ Р 56124.1-2014 (IEC/TS 62257-1:2003 гибридным системам дано следующее определение:

- энергетическая система с несколькими источниками электрической энергии, использующими не менее двух разных технологий производства электроэнергии.

Чаще всего в этом качестве рассматривается ветроэнергетика и гелиотехника. Характеризуя каждый из них, можно отметить, что любой из них имеет принципиальный недостаток, который препятствует его широкому внедрению. Например, ветростанции и геотермальные станции жестко привязаны к месту, где имеются соответствующие достаточно приемлемые ресурсы, место нахождения которых зачастую находится вдалеке от промышленных центров. То же можно сказать и о солнечной энергетике, волновой.

Авторами предложен способ получения энергии с помощью такого источника энергии, как перепад температур между днём и ночью в составе гибридного электротехнического комплекса с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), рис. 1.

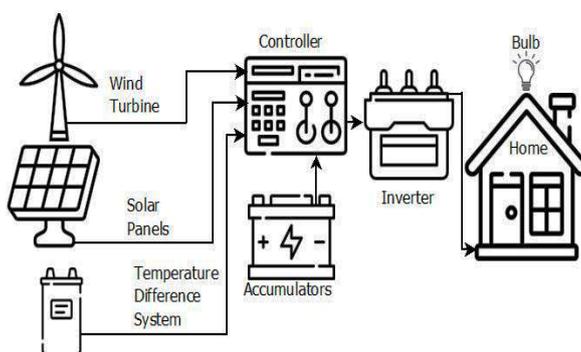


Рис. 1. Гибридная энергосистема с заменой бензинового генератора на систему перепада температур

Преимущества такого способа – полное отсутствие вредного экологического влияния, абсолютная безопасность для человека и природы, бесконечность источника такой энергии [1-5].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. Для управления автономным гибридным комплексом на основе ВИЭ и с системой перепада температур (СПТ) необходимо знать, как распределяется нагрузка под всем системам. Система управления такого комплекса должна была решать задач управления нагрузками всей энергосистемы.

III. Разработка алгоритма системы управления нагрузкой. Основной проблемой системы управления гибридным комплексом с системой перепада температур - это контроль по всем трём системам энергоснабжения нагрузки. Непрерывный контроль по всем трём системам энергоснабжения уровня нагрузки даёт возможность поддерживать энергоснабжение потребителей вне зависимости от природных факторов и сбергать ресурсы механических частей ветросистемы.

Для этого была разработана модель системы для управления контроля нагрузки всех трёх источников энергии, блок-схема которой показана на рис.2.

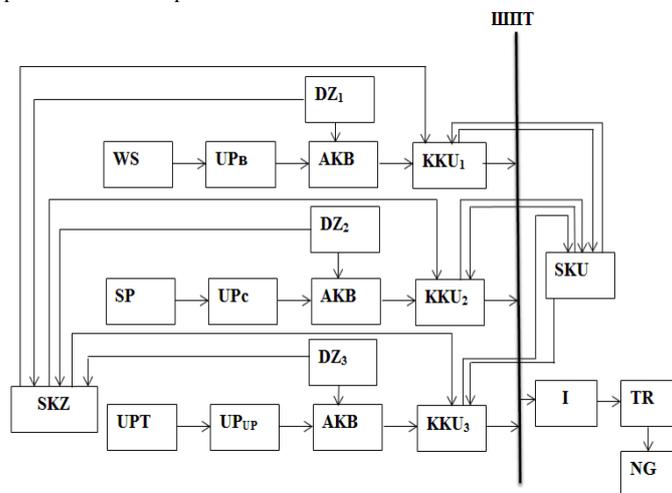


Рис. 2. Блок-схема системы контроля и управления нагрузкой автономного гибридного комплекса с СПТ: SH – шина постоянного тока; SP – солнечные панели; UPT – система перепада температур; SKU – система управления нагрузкой; SKZ – система управления зарядом; KКУ – контактно контрольные устройства; U – системы управления энерго источников; SKZ – система контроля заряда; DZ – датчики контроля заряда аккумуляторных батарей; I – инвертор; АКВ – аккумуляторные батареи

Система контроля и управления нагрузкой (СКУН) была введена для следующих целей. В моменты, когда работают все три составляющие энерго системы, солнечная, ветровая и устройство перепада температур, то на шину постоянного тока поступает энергия от всех трёх источников. Однако, энергоснабжение нагрузки может осуществляться и только от двух или даже одного источника энергии. Поэтому если работали все три составляющих, то необходимая мощность на поступающую нагрузку обеспечивалась всеми тремя источниками. Такая избыточная мощность была излишней, поэтому система контроля управления нагрузки отключала один из потребителей.

СКУН работает следующим образом.

В цепи между аккумуляторными батареями и шиной постоянного тока каждой из трёх систем включалась контрольное коммутирующее устройство ККУ, которые выполняли функции как контроля нагрузки в данной цепи, так и её включение или отключение.

Установленные в этих контрольных коммутирующих устройствах датчики контролировали ток нагрузки и передавали информацию на систему контроля и управления нагрузкой.

В случае если работали все три составляющих, то система в первую очередь отключала оборудования с электромеханической составляющей.

Это ветро генератор, имеющий подшипниковые узлы, системы ориентации и другие механически подвижные части. Либо устройство перепада температур, в котором так же есть подвижные части. Такое отключение позволяет экономить ресурсы оборудования. Алгоритм системы управления нагрузкой показан на рис. 3.

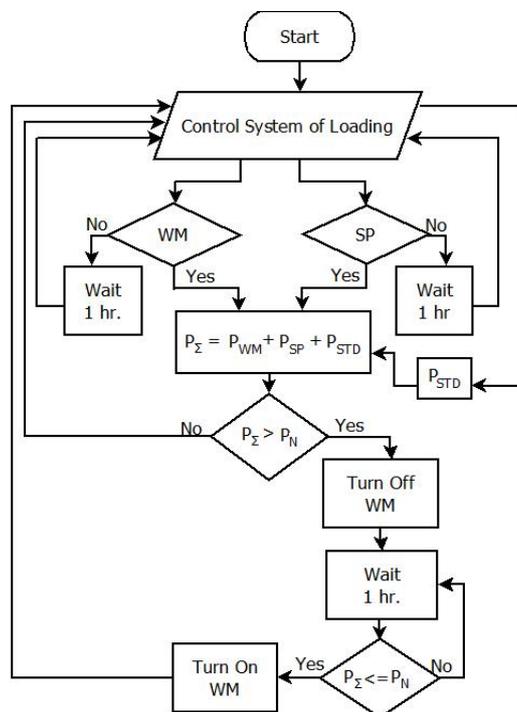


Рис. 3. Алгоритм системы управления нагрузкой

Здесь в цепи каждой энергосистемы включён датчик контроля нагрузки. Информация с датчиков поступает на блоки управления. Датчики нагрузки отслеживают работу всех энергосистем. Если работают все три, то блок управления нагрузками отключает ветро систему.

Система контроля и управления нагрузкой работает следующим образом: при включении система опрашивает каждую из ветвей энергопитания. В начале запрашивается ветро-энергетическая установка и оценивается мощность, которую она выдаёт - она равна номинальной, или нет. Если она меньше номинальной, то необходимо подождать час и снова запросить. Если же мощность, которую выдаёт ветроэнергетическая установка больше номинальной (например, ветер резко усилился и достиг максимальных значений), то значение этой мощности посылается на вычисление полностью всей суммы.

Точно также опрашивается и система солнечных панелей. И если мощность, которую она выдаёт меньше номинальной мощности, система ждёт какой-то час и вновь посылает на её опрос. Если же она равна или даже больше номинальной мощности (например, Солнце достигло максимума своего свечения), то это значение также посылается на вычисление суммы.

Поскольку система перепада температур работает постоянно, то значение вырабатываемой ей мощности также посылается на вычисление полностью суммы.

Как только сумма всех мощностей вычислялось, то система решает: суммарная мощность больше или равна необходимой для питания нагрузки полностью. Если эта сумма мощностей больше необходимой, то вырабатывается излишняя мощность. В этом случае система даёт сигнал на отключение действия ветроэнергетической установки и далее система управления ждёт целый час, и затем снова опрашивает ветросистему. Если всё продолжается также, то она опять ждёт час и повторяет снова запрос. Если же ветросистема снизила свою мощность, тогда система управления включает в работу ветроэнергетическую установку сигнал от неё вновь поступает в систему контроля управления нагрузкой.

По данному алгоритму была составлена программа управления комплексом.

Выводы. Применение программы системы управления контроля заряда гибридных автономных электротехнических комплексов позволяет достичь наибольшей эффективности алгоритма работы преобразователя энергии перепада температур.

Список литературы

1. Челухин В.А., Васильев А.В. и др. Разработка гибридного электротехнического комплекса электропитания микро спутников с преобразователем энергии перепада температур / В. А. Челухин, А. В. Васильев, Е. В. Абрамсон, Пьей Зон Аунг // Известия Тульского государственного университета. Вып. 9, 2023. С.403-407. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-9-398-399.
2. Челухин В.А., Васильев А.В. и др. Разработка преобразователя энергии перепада температур бидиэлектрического типа автономного гибридного электротехнического комплекса небольшой мощности / Е. В. Абрамсон,

Пьей Зон Аунг, В. А. Челухин, А. В. Васильев // Известия Тульского государственного университета. Вып. 9, 2023. С. 424 - 428. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-9-422-423.

3. Челухин, В. А., Васильев А. В. и др. Решение проблемы мощности и электрической прочности в преобразователях энергии перепада температур / Е. В. Абрамсон, В. А. Челухин, А. В. Васильев // Известия Тульского государственного университета. 2024. Вып. 10. С. 521 - 528.

4. Челухин В.А. К вопросу электроснабжения поселений на Марсе / В. А. Челухин, Е. В. Абрамсон // Электричество, 2016, № 5. С. 45–52.

5. Челухин В.А. и др. Оценка эффективности использования перепада температур день – ночь для целей энергетики / В. А. Челухин, Е. В. Абрамсон, М.С. Кружаев // Промышленная энергетика. 2018. № 6. С. 45-49.

6. Vladimir Chelukhin, Elizaveta Abramson and Alexander. Vasiliev Problem-solving recycling of renewable energy waste based on the technology of energy production using the temperature difference. Published online 25 August 2023. E3S Web Conf. Volume 419, 2023. V International Scientific Forum on Computer and Energy Sciences (WFCEs 2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202341901005. Article Number 01005. Number of page(s) 4.

7. Cheluhin V.A., Piei Zon Aung, M.S. Krujaev, E.V. Abramson Development of Software for Collecting Region-Wise Values of Day-Night Temperature Drop for a Renewable Energy Source. Published in: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). INSPEC Accession Number: 19229166. Date of Conference: 1-4 Oct. 2019. P. 1 - 2 DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934706.

8. Cheluhin V.A., Piei Zon Aung, M.S. Krujaev, E.V. Abramson; Mathematical Modeling of Power Generation from Day-Night Temperature Drop Using Neural Networks and Artificial Intelligence. Published in: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Date of Conference: 1-4 Oct. 2019. P. 1 – 4. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934035.

9. Cheluhin V.A., Piei Zon Aung, M.S. Krujaev, E.V. Abramson; Development of an algorithm for the operation of the control system of the temperature difference converter during th day. (Published in: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)/ Date of Conference:1-4 Oct. 2019/Date Location: Vladivostok, Russia. DOI: 10.1109/CAC.2017.8244104.

10. Cheluhin V.A., Piei Zon Aung, M.S. Krujaev, E.V. Abramson; Development of Software for Collecting Region-Wise Values of Day-Night Temperature Drop for Renewable Energy Source. (Published in: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)/ Date of Conference: 1-4 Oct. 2019/ INSPEC Accession Number: 19229166/ Date Added to IEEE Xplore: 19 December 2019/ Publisher: IEEE Conference Location: Vladivostok, Russia). DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934706.

11. Cheluhin V.A., Abramson E.V., Krujaev M.S. Environmentally Friendly Method of Producing Electricity from Day-Night Temperature Swings. Published in: 2019 International Science and Technology Conference "EastConf". Date of Conference:1-2 March 2019. Conference Location: Vladivostok, Russia, Russia. DOI: 10.1109/EastConf.2019.8725330.

Трофимович Полина Николаевна, канд. техн. наук, доцент, ptrofimovich@bk.ru, Россия, Хабаровск, Дальневосточный государственный университет путей сообщения

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR A LOAD CONTROL PROGRAM FOR THREE POWER SUPPLY SYSTEMS OF A HYBRID AUTONOMOUS ELECTRICAL COMPLEX USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

P.N. Trofimovich

To date, energy production technologies based on the use of renewable sources are a promising and important source of energy. However, any production, including the production of energy based on the use of renewable sources, cannot do without any negative consequences. For renewable energy sources, it is the disposal of waste from renewable energy technologies. The potential amount of green energy waste is huge. Thus, it is expected that by 2050 the number of spent solar panels will reach 78 million tons. The Re-Wind research project provides data that by 2050, 40 million tons of composites of wind turbine blades will be waiting for recycling, the processing of which is not possible today. To solve these problems, a technology for generating energy based on the use of the temperature difference between day and night is proposed. On average, this difference ranges from 4 oC to 15 oC or more. Impac such a change in temperature on various materials causes a change in their physical state, in particular linear dimensions, which can be used to generate energy. At the same time, the disposal of waste devices of such technology does not pose a danger and problems, since there are no toxic materials, radioactive substances and dangerous inclusions. However, due to the fact that research in the field of energy production with the help of temperature differences has not previously were conducted, therefore, the topic of the study is relevant and timely. For this purpose, an algorithm of the program of continuous load monitoring for three power supply systems of a hybrid autonomous electrical complex using renewable energy sources with an energy conversion system of the ambient temperature difference day – night during the day has been developed. Continuous monitoring of the load level in all three power supply systems makes it possible to maintain energy supply to consumers regardless of natural factors and to save the resources of mechanical parts of the wind system.

Keywords: hybrid complex, control system, temperature difference, power supply, energy converter, program, algorithm.

Trofimovich Polina Nikolaevna, candidate of technical sciences, docent, ptrofimovich@bk.ru, Russia, Khabarovsk, Far Eastern State University of Railway Engineering

ПОДБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКА И ОЦЕНКА ЕЕ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

А.И. Фещенко, К.М. Сидоров, А.С. Саксонов

Предложены рекомендации по выбору стартера и аккумуляторной батареи при проектировании новых и усовершенствовании существующих типов двигателей. При этом выбор стартера осуществляется по его номинальной мощности, а аккумуляторной батареи – по величине тока холодной прокрутки из рассматриваемых моделей рядов соответствующих элементов электропусковой системы.

Ключевые слова: система электростартерного пуска, стартер, аккумуляторная батарея, номинальная мощность стартера, ток холодной прокрутки.

Параметры системы электростартерного пуска (СЭП) определяются условиями пуска холодного двигателя при низких температурах и зависят от его пусковых качеств. Согласно ГОСТ Р 54120-2010 [1] пусковые качества двигателя оцениваются минимальной пусковой частотой вращения коленчатого вала $n_{\text{пmin}}$ и моментом сопротивления $M_{\text{д}}$ при его прокручивании стартером для нормированных условий пуска (требуемая минимальная температура пуска $t_{\text{пmin}}$ без применения средств облегчения пуска и при их применении, а также вязкость моторного масла ν при данной температуре). Основными факторами, влияющими на величину минимальной пусковой частоты $n_{\text{пmin}}$ являются: тип двигателя внутреннего сгорания (ДВС), схема расположения и число цилиндров, применение средств облегчения пуска, температура окружающей среды (при расчете СЭП $t = t_{\text{пmin}}$). Средний момент сопротивления ДВС $M_{\text{д}}$ на его пусковых режимах, как правило, определяется расчетным путем с учетом рабочего объема цилиндров V_h , степени сжатия ϵ , вязкости масла ν и частоты прокручивания коленчатого вала стартером $n_{\text{д}}$ (при расчете СЭП $n_{\text{д}} = n_{\text{пmin}}$).

Источником питания электрического стартера при пуске двигателя является аккумуляторная батарея ограниченной мощности, поэтому напряжение на его зажимах не является постоянным, а падает с увеличением нагрузки. Поэтому в ГОСТ Р 53829-2010 [2] указаны условия, при которых определяются характеристики стартера в номинальном и пусковом режимах.

Для определения максимальной механической мощности стартера в номинальном режиме $P_{\text{сн}}$ используется соотношение между максимальными значениями электромагнитной мощности в номинальном $P_{\text{эмн}}$ и пусковом $P_{\text{эмmax}}$ режимах

$$\frac{P_{\text{сmax}}}{P_{\text{сн}}} = \frac{P_{\text{эмmax}}}{P_{\text{эмн}}} \quad (1)$$

Мощностные характеристики стартера с учетом (1) приведены на рис. 1.

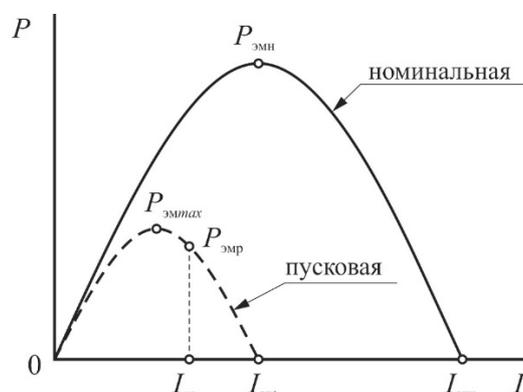


Рис. 1. Мощностные характеристики стартера

Использование при расчете электромагнитной, а не механической мощности стартера, позволяет получить более простые и точные соотношения.

Передаточное отношение привода от стартера к двигателю выбирается таким образом, чтобы при заданных условиях пуска холодного двигателя ток стартера в рабочей точке был равен $I_{\text{сп}} = (2/3) \cdot I_{\text{стн}}$ [3].

Связь между мощностью стартера в рабочей точке $P_{\text{сп}}$ при заданной температуре пуска $t_{\text{пmin}}$ холодного двигателя и максимальной мощностью при той же температуре $P_{\text{сmax}}$ можно установить, используя уравнение мощностной характеристики стартера в относительных единицах

$$\frac{P_{\text{эм}}}{P_{\text{эмmax}}} = 4 \cdot \frac{I_{\text{с}}}{I_{\text{ст}}} \left(1 - \frac{I_{\text{с}}}{I_{\text{ст}}} \right), \quad (2)$$

где $I_{\text{ст}}$ – ток полного торможения стартера.

Для рекомендуемого тока стартера в рабочей точке $I_{\text{сп}} = (2/3) \cdot I_{\text{стн}}$ имеем

$$\frac{P_{\text{эм}}}{P_{\text{эмmax}}} = 1,125 \cdot \quad (3)$$

Соотношение (1) можно представить в следующем виде

$$\frac{P_{сmax}}{P_{сн}} = \frac{P_{эмmax}}{P_{эмн}} = \frac{I_{стл}}{I_{стн}} = \frac{R_{бн} + R_{ц} + R_{с}}{R_{бл} + R_{ц} + R_{с}} \approx \frac{R_{бн}}{R_{бл}} = r_t, \quad (4)$$

где $R_{бн}$, $R_{бл}$ – соответственно эквивалентное сопротивление батареи для номинальной и пусковой характеристик стартера; $R_{ц}$ – сопротивление цепи питания стартера (принимается равным 0,002 Ом); $R_{с}$ – внутреннее сопротивление стартера.

Пусковые качества аккумуляторной батареи определяются ее внутренним электрическим сопротивлением. Сопротивление батареи зависит как от конструктивных, так и от внешних факторов, главными из которых являются температура электролита и степень разряженности. Величина внутреннего электрического сопротивления стартерной аккумуляторной батареи в зависимости от ее типа и условий разряда составляет сотые и тысячные доли Ома. Поэтому на практике пусковые качества стартерных свинцовых батарей оцениваются величиной тока «холодной прокрутки» [4]. В [5] предложен метод расчета вольтамперных характеристик стартерных свинцовых аккумуляторных батарей с использованием нормативных показателей разряда батарей в стартерном режиме, который используется в рассматриваемой методике выбора параметров СЭП двигателя.

Методика расчета

1. Минимально необходимая мощность стартера в номинальном режиме, при которой обеспечивается прокручивание коленчатого вала двигателя с заданной минимальной пусковой частотой

$$P_{сн} = \frac{1,125 \cdot M_{д} \cdot n_{пmin}}{9,55 \cdot \eta_z \cdot r_t} = 0,118 \cdot \frac{M_{д} \cdot n_{пmin}}{\eta_z \cdot r_t}, \quad (5)$$

где η_z – КПД зубчатой передачи «шестерня стартера – венец маховика двигателя» принимается в пределах 0,85...0,9; r_t – коэффициент, показывающий отношение сопротивления батареи для номинального режима работы стартера к сопротивлению батареи для заданных условий пуска.

Расчет по [6] дает значения коэффициента r_t , представленные в таблице.

Значения коэффициента r_t для различных температур

$t, ^\circ\text{C}$	- 10	- 20	- 30
r_t	0,71	0,62	0,47

2. Пользуясь электромеханическими характеристиками существующих типов стартеров, приведенных в каталогах или заводских ТУ находят такой стартер, номинальная мощность которого была близка к расчетной.

3. Для требуемого крутящего момента стартера $M_{ср} = M_{д} / (i_{дс} \cdot \eta_t)$ по моментной характеристике $M_c(I_c)$ выбранного из каталога стартера определяют ток $I_{ср}$, потребляемый стартером в рабочей точке.

4. Из соотношения значений ЭДС в обмотке якоря и частот вращения вала стартера при токе $I_{ср}$ находят ЭДС стартера в рабочей точке

$$E_{ср} = E_{снр} \frac{n_{ср}}{n_{снр}}, \quad (6)$$

где $E_{снр}$, $n_{снр}$ – ЭДС якоря и частота вращения вала стартера, определяемые по номинальным электромеханическим характеристикам выбранного стартера; $n_{ср} = n_{мин} \cdot i_{дс}$ – частота вращения вала стартера в рабочей точке. Графическое определение ЭДС $E_{ср}$ и частоты вращения $n_{ср}$ для выбранного стартера поясняет рис. 2, на котором обозначены: $U_t(I_c)$ – тормозная характеристика стартера; $U_c(I_c)$, $n_c(I_c)$ – соответственно номинальные вольтамперная характеристика батареи с учетом падения напряжения в стартерной цепи и скоростная характеристика стартера; $U'_c(I_c)$, $n'_c(I_c)$ – соответственно пусковые вольтамперная характеристика батареи с учетом падения напряжения в цепи питания стартера и скоростная характеристика стартера.

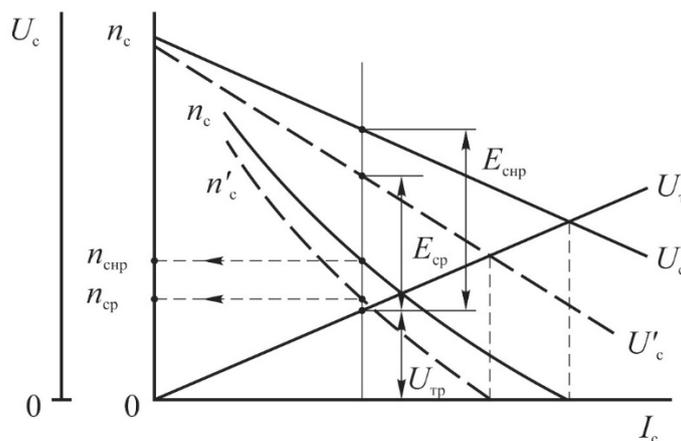


Рис. 2. Графическое определение ЭДС $E_{ср}$ и частоты вращения $n_{ср}$ для выбранного стартера

5. Разрядное напряжение батареи для заданных условий пуска

$$U_{бр} = E_{ср} + U_{тр} + I_{ср} \cdot R_{ц} \geq U_{бmin}, \quad (7)$$

где $U_{тр}$ – падение напряжения на внутреннем электрическом сопротивлении стартера (тормозное напряжение стартера); U_{\min} – минимально допустимое напряжение батареи по условию надежной работы системы зажигания на пусковых режимах работы двигателя (принимается равным 6 В для номинального напряжения бортовой сети автомобиля 12 В).

6. Используя координаты рабочей точки на вольтамперной характеристике аккумуляторной батареи, определяют ее внутреннее эквивалентное сопротивление для расчетных условий пуска двигателя

$$R_{\text{в}} = \frac{U_{\text{нр}} - U_{\text{бр}}}{I_{\text{ср}}}, \quad (8)$$

где $U_{\text{нр}}$ – начальное разрядное напряжение при $I_{\text{с}} = 0$ (рассчитывается по эмпирической формуле [6]).

7. Величина расчетного тока холодной прокрутки связана с внутренним сопротивлением батареи следующим образом [6]

$$I_{\text{хп}} = \frac{(K_{\text{т}} + K_{\text{р}}) \cdot U_{\text{н}} \cdot (11,5 - U_{\text{р}}) \cdot K_{\text{п}}}{12 \cdot R_{\text{в}}}, \quad (9)$$

где $K_{\text{т}}$, $K_{\text{р}}$, $K_{\text{п}}$ – коэффициенты, учитывающие влияние на электрическое сопротивление батарей соответственно температуры электролита, разряженности батареи и длительности попытки пуска; $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение батареи; 11,5 – начальное разрядное напряжение полностью заряженной 12-вольтовой батареи при температуре электролита -18°C ; $U_{\text{р}}$ – нормативное значение разрядного напряжения 12-вольтовой батареи (7,2 или 7,5 В соответственно в стартерном режиме разряда по стандартам SAE и EN [7]).

8. С помощью каталога производителя выбирают марку аккумуляторной батареи, у которой величина тока холодной прокрутки близка к расчетному значению (см. п. 7) с учетом требований к классу, виду исполнения, габаритным размерам, форме исполнения полюсных выводов, их расположения на батарее и др.

9. После расчета СЭП оценивают ее пригодность для ДВС по условию $n_{\text{д}} \geq n_{\text{мин}}$ и другим критериям, используя результаты поверочного расчета системы [6, 7, 8].

Заключение. Предлагаемый метод расчетного исследования дает возможность в кратчайшие сроки определить все необходимые варианты системы электростартерного пуска двигателя и выбрать наилучшее решение с учетом заданных (возможных) условий эксплуатации ДВС.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54120 - 2010. Двигатели автомобильные. Пусковые качества. Технические требования. – Введен 2011 - 09 - 01. М.: Стандартинформ, 2011. 8 с.
2. ГОСТ Р 53829 - 2010. Автомобильные транспортные средства Стартеры электрические. Технические требования и методы испытаний. Введен 2010-09-15. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.
3. Галкин Ю.М. Электрооборудование автомобилей и тракторов. М.: Машиностроение, 1968. 280 с.
4. ГОСТ Р 53165 - 2008 (МЭК 60095-1: 2006). Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные для автомобильной техники. Общие технические условия. Введен 2008-07-01. М.: Стандартинформ, 2009. 35 с.
5. Расчетное определение выходных характеристик систем электростартерного пуска двигателей автомобилей МАЗ и КамАЗ с номинальными напряжениями 24 и 36 В: отчет о НИР (заключ.) / Исполн. Фещенко А.И. М., 2006. 60 с. Договор подряда №5 от 01.02.2006 г. (т. 9.5.2).
6. Фещенко А.И., Феофанов С.А. Методические указания к курсовому проекту «Расчет выходных характеристик системы электростартерного пуска ДВС». М.: МАДИ, 2008. 37 с.
7. Курзуков Н.И., Ягнятинский В.М. Стартерные аккумуляторные батареи. Основы устройства, эксплуатация и обслуживание. М.: ООО «Никкель», 2011. 224 с.
8. Козловский В.Н. Надежность системы электрооборудования легкового автомобиля / В.Н. Козловский, В.Е. Ютт // Электроника и электрооборудование транспорта. 2008. № 3. С. 37-40.

Фещенко Александр Иванович, канд. техн. наук, доцент, aif-ate@yandex.ru, Россия, Москва, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),

Сидоров Кирилл Михайлович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, k.sidorov@bk.ru, Россия, Москва, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),

Саксонов Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, a.s.saksonoff@yandex.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет

SELECTION OF AN ELECTRICAL STARTING SYSTEM AND ASSESSMENT OF ITS SUITABILITY FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

A.I. Feschenko, K.M. Sidorov, A.S. Saxonov

Recommendations are offered for choosing a starter and battery when designing new and improving existing types of engines. In this case, the selection of the starter is carried out according to its rated power, and the battery - according to the value of the cold cranking amps from the considered models of the rows of the electrical starting system corresponding elements.

Key words: electrical starting system, starter, battery, rated starter power, cold cranking amps.

Feschenko Aleksandr Ivanovich, candidate of technical sciences, docent, aif-ate@yandex.ru, Russia, Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),

Sidorov Kirill Mikhailovich, candidate of technical sciences, docent, head of department, k.sidorov@bk.ru, Russia, Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),

Saxonov Alexander Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, a.s.saksonoff@yandex.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University

УДК 519.71:681.5

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-365-366

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ГРАДИЕНТНЫМ АЛГОРИТМОМ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ

Н.А. Малёв, М.Р. Хаметханова

Системы управления электроприводов различных технологических установок зачастую функционируют в условиях параметрических возмущений. К наиболее характерным параметрическим возмущениям можно отнести изменение масс и моментов инерции мехатронных и робототехнических систем, металлообрабатывающих станков, установок наведения и т.п. Изменения параметров приводят к изменениям динамических характеристик электроприводов и могут вызвать ухудшение точностных и качественных показателей технологических процессов. В этой связи разработка алгоритма управления, обеспечивающего малую чувствительность (робастность) электропривода к параметрическим возмущениям, является актуальной и важной задачей. Целью настоящей работы является сравнительный анализ алгоритма управления электропривода малой параметрической чувствительности с применением эталонной модели, полученной на основе критерия динамической точности, с соответствующим методом последовательной коррекции.

Ключевые слова: электропривод, алгоритм управления, параметрические возмущения, точность, робастность, качество управления.

Анализ динамических характеристик электромеханических преобразователей, входящих в состав регулируемых электроприводов, проведенный на основе методов теории чувствительности [1-3], позволяет утверждать, что в условиях параметрических возмущений выходные координаты могут существенно изменяться как в переходном, так и в установившемся режимах, вызывая ухудшение показателей качества функционирования электропривода. Системы управления электроприводов, синтезированные с применением стандартных настроек и других способов коррекции [4-6], обеспечивают заданные показатели качества при номинальных значениях параметров, однако являются чувствительными к параметрическим возмущениям и в данных условиях качество функционирования электропривода может не соответствовать предъявляемым требованиям [7, 8]. Одним из возможных решений задачи сохранения требуемого качества функционирования при параметрических возмущениях является синтез закона управления, полученного на основе эталонной модели и градиентного алгоритма, минимизирующего соответствующий функционал показателя качества, обеспечивающего малую параметрическую чувствительность электропривода.

Исследуемый алгоритм робастного управления, раскрытый в работах [9-12] формируется таким образом, что выполняется условие

$$|x(t) - x_m(t)| \leq \varepsilon, \quad (1)$$

т.е. изменение регулируемой координаты $x(t)$ должно соответствовать эталонному процессу $x_m(t)$ с погрешностью, не превышающей постоянной величины ε , характеризующей динамическую точность электропривода.

Так, для системы второго порядка, описываемой дифференциальным уравнением

$$\ddot{x}(t) + a_1\dot{x}(t) + a_0x(t) = b_0u(t) \quad (2)$$

алгоритм управления $u(t)$, обеспечивающий совпадение процессов в системе с процессами в эталонной модели, требует выполнения равенства старших производных выходных координат объекта исследования и модели.

Из уравнения (2) следует, что вторая производная (ускорение) объекта управления

$$\ddot{x}(t) = b_0u(t) - a_1\dot{x}(t) - a_0x(t).$$

С учетом равенства эталонного и реального процессов алгоритм управления можно записать как

$$u(t) = \frac{1}{b_0} [\ddot{x}(t) + a_1\dot{x}(t) + a_0x(t)].$$

Данный алгоритм называется компенсационным, поскольку слагаемые $a_1\dot{x}$, a_0x компенсируют соответствующие члены уравнения объекта (2). К таким алгоритмам относятся широко применяемые на практике настройки на технический и симметричный оптимум и другие методы последовательной коррекции [4, 6, 13]. Для реализации данного алгоритма требуется априорная информация обо всех параметрах системы. Кроме того, компенсационный алгоритм обуславливает высокую чувствительность скорректированного объекта управления к параметрическим возмущениям (отклонениям значений параметров от расчетных величин).

Поскольку равенства $\ddot{x}(t) = \ddot{x}_m(t, u)$ сложно добиться на практике, структуру и параметры робастного алгоритма следует определять из условия минимума функционала

$$J(u) = \frac{1}{2} [\ddot{x}(t) - \ddot{x}_m(t, u)]^2. \quad (3)$$

Учитывая недостатки компенсационного алгоритма коррекции, целесообразно отказаться от выполнения условия абсолютного минимума функционала (3) $\min_u J(u) = 0$ и придать системе свойство робастности, обеспечивая в каждый момент времени $t > 0$ принадлежность значения функционала (3) некоторой малой окрестности экстремума-минимума.

Градиент функционала, соответствующий поиску экстремума $J(u)$

$$\frac{\partial J(u)}{\partial \dot{u}} = -b_0 [\ddot{x}(t) - \ddot{x}_m(t, u)], b_0 = \text{const}.$$

Тогда, с учетом организации движения (3) в окрестность экстремума в соответствии с соотношением для производной управляющей функции

$$\frac{du(t)}{dt} = \lambda \frac{\partial J(u)}{\partial \dot{u}}, \lambda = \text{const}$$

дифференциальный закон управления

$$\frac{du(t)}{dt} = k [\ddot{x}_m(t, u) - \ddot{x}(t)], k = -\lambda b_0. \quad (4)$$

Эталонная модель формируется на основе критерия динамической точности [13, 14] и может быть представлена уравнением

$$\ddot{x}_m + \alpha_2 \dot{x}_m + \alpha_1 x_m + \alpha_0 x_m = \beta_1 \dot{x}_s + \beta_0 x_s, \quad (5)$$

где x_s – задающее воздействие, $\alpha_i, \beta_j > 0$.

Из уравнения эталонной модели третья производная выходной координаты в операторной форме записи

$$\ddot{x}_m = B(s)x_s - A'(s)x_m, \quad (6)$$

где $B(s) = \beta_1 s + \beta_0$, $A'(s) = \sum_{i=0}^2 \alpha_i s^i = \alpha_2 s^2 + \alpha_1 s + \alpha_0$.

Необходимым условием формирования эталонной модели является выполнение неравенства

$$|x_s(t) - x_m(t)| \leq \delta, \delta < \varepsilon,$$

что по определению гарантирует требуемую динамическую точность электропривода.

Уравнение (4), составляющее основу алгоритма робастного управления, имеет недостатки с точки зрения аппаратной реализации, поскольку требует вычисления производных выходных координат эталонной модели и объекта. Целесообразно выполнить некоторые преобразования и проинтегрировать обе части уравнений (4) и (6). Интегрирование при нулевых значениях координат, при условии, что $x = x_m$, $\dot{x} = \dot{x}_m$ приводит к следующим соотношениям:

$$u = k(\dot{x}_m - \dot{x}), \dot{x}_m(t) = \int_0^t (\alpha_0 f_0 + \beta_1 x_s - \alpha_1 x) dt - \alpha_2 x, \quad (7)$$

$$f_0 = \int_0^t (x_s - x) dt.$$

Таким образом, для вычисления алгоритма управления $u(t)$ в соответствии с выражениями (7) достаточно иметь информацию о выходной регулируемой координате электропривода x и скорости ее изменения \dot{x} .

Структурная схема объекта $\ddot{x} + a_1 \dot{x} + a_0 x = b_0 u$ с эталонной моделью с учетом алгоритма робастного управления (7) представлена на рис. 1.

На основании приведенной схемы произведем синтез алгоритма робастного управления (7) для электропривода, обеспечивающего регулирование скорости вращения, и осуществим сравнительный анализ результатов моделирования этого же электропривода с последовательным корректирующим устройством (регулятором). В обоих случаях в качестве эталонной модели используется желаемая передаточная функция с астатизмом первого порядка [15, 16].

Передаточная функция объекта управления

$$W_o(s) = \frac{\Omega(s)}{U_s(s)} = W_r(s)W_{em}(s) = \frac{K_r K_{em}}{T_a T_m s^2 + T_m s + 1}, \quad (8)$$

где U_s – напряжение задания, В; Ω – скорость вращения электропривода, рад/с; $K_{em} = 1/c = 1/0,072 = 13,89$ рад/В·с – коэффициент передачи серводвигателя постоянного тока типа PIVT-6-25/3A; $K_r = 15$ – коэффициент

усиления выпрямителя; $T_a = 0,002$ с – электромагнитная постоянная времени; $T_m = 0,025$ с – электромеханическая постоянная времени [17].

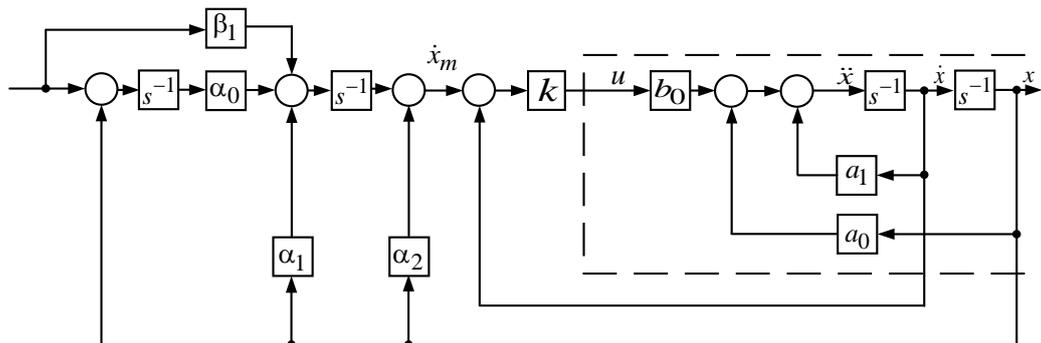


Рис. 1. Структурная схема электропривода с алгоритмом робастного управления

Соответствующая структурная схема объекта управления с учетом воздействия момента сопротивления M_c показана на рис. 2.

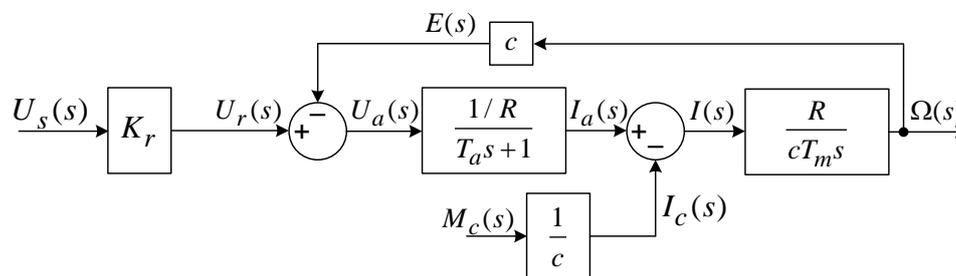


Рис. 2. Структурная схема объекта управления

Величина активного сопротивления якорной обмотки, полученная экспериментально, составила 5,15 Ом [17].

Эталонная модель для системы с астатизмом первого порядка описывается передаточной функцией

$$W_m(s) = \frac{K_{\Omega}(T_{2m}s + 1)}{s(T_{1m}s + 1)(T_{3m}s + 1)}, \quad (9)$$

где $K_{\Omega} = 200 \text{ с}^{-1}$ – добротность по скорости; T_{im} – постоянные времени: $T_{1m} = 0,1$ с, $T_{2m} = 0,05$ с, $T_{3m} = 0,002$ с.

С учетом выражения (5) передаточную функцию эталонной модели можно представить как

$$W_m(s) = \frac{\beta_1 s + \beta_0}{s^3 + \alpha_2 s^2 + \alpha_1 s}, \quad (10)$$

где коэффициенты $\beta_0 = \frac{K_{\Omega}}{T_1 T_3} = 10^6 \text{ с}^{-3}$; $\beta_1 = \frac{K_{\Omega} T_2}{T_1 T_3} = \beta_0 T_2 = 50 \cdot 10^3 \text{ с}^{-2}$; $\alpha_1 = \frac{1 + K_{\Omega} T_2}{T_1 T_3} = 55 \cdot 10^3 \text{ с}^{-2}$;

$$\alpha_2 = \frac{T_1 + T_3}{T_1 T_3} = 510 \text{ с}^{-1}.$$

Полученные значения коэффициентов эталонной модели позволяют сформировать структурную схему моделирования электропривода с алгоритмом робастного управления (см. рис. 1).

Синтез регулятора скорости вращения электропривода с применением метода последовательной коррекции [15, 16] осуществим путем вычисления передаточной функции в соответствии с выражением:

$$W_{r\Omega}(s) = \frac{W_m(s)}{W_o(s)}.$$

Вычисления производим в программной среде *MatLab* с применением следующего скрипта:

```
num1 = [208.24];
den1=[0.00005 0.025 1];
sys1=tf(num1, den1); % передаточная функция объекта управления
num2=[10 200];
den2= [0.0002 0.102 1 0];
sys2=tf(num2, den2); % передаточная функция эталонной модели
sys=sys2/sys1
```

```

sys =
  0.0005 s^3 + 0.26 s^2 + 15 s + 200
-----
  0.04165 s^3 + 21.24 s^2 + 208.2 s
    
```

В целях упрощения структуры полученного в результате вычислений регулятора определим нули и полюсы передаточной функции $W_{r\Omega}(s)$:

```

roots([0.0005 0.26 15 200])      roots([0.04165 21.24 208.2 0])
ans =                               ans =
-4.561552812808831e+02            0
-4.384471871911699e+01            -4.999657006859946e+02
-1.999999999999999e+01            -9.998284908243013e+00
    
```

Выполним несложные преобразования и окончательно запишем

$$\begin{aligned}
 W_{r\Omega}(s) &= \frac{(0,0022s + 1)(0,0228s + 1)(0,05s + 1)}{s(0,002s + 1)(0,1s + 1)} = \\
 &= \frac{(0,0228s + 1)(0,05s + 1)}{s(0,1s + 1)} = \frac{(T_{r\Omega 2}s + 1)(T_{r\Omega 3}s + 1)}{s(T_{r\Omega 1}s + 1)}.
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Выражение (11), полученное в результате синтеза регулятора скорости на основе критерия динамической точности согласно эталонной модели (9), соответствует структуре ПИД-регулятора.

Simulink-модель для анализа динамических процессов электропривода с различными корректирующими устройствами показана на рис. 3.

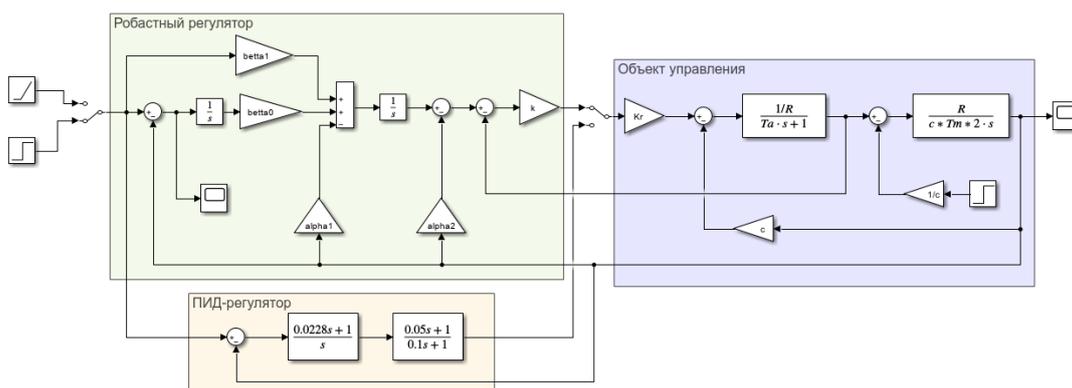


Рис. 3. Simulink-модель скорректированного электропривода

Результаты моделирования скорректированного электропривода представлены на рис. 4, 5.

Необходимо отметить, что при отсутствии внешних и параметрических возмущений процессы в скорректированном электроприводе с синтезированными регуляторами практически идентичны эталонному переходному процессу и характеризуются перерегулированием около 6 % и временем нарастания 0,2 с.

Моделирование производилось при следующих возмущающих воздействиях: 1) увеличение момента инерции электропривода в два раза по сравнению с расчётным значением (параметрическое возмущение); 2) наброс нагрузки через 0,5 с после пуска (координатное возмущение). Увеличение момента инерции соответствует идентичному изменению электромеханической постоянной времени в модели (8). Наброс нагрузки осуществлялся путем подачи момента сопротивления $M_c = const$.

Из анализа рис. 4 видно, что при параметрическом возмущении переходная характеристика электропривода с алгоритмом робастного управления (красная штриховая линия Ω_{robust}) совпадает с эталонным переходным процессом (черная сплошная линия Ω_m), что говорит о малой параметрической чувствительности электропривода с данным способом коррекции. При этом переходная характеристика электропривода с ПИД-регулятором (синяя пунктирная линия Ω_{PID}) характеризуется увеличением перерегулирования с 6% до 20%. Поскольку оба способа коррекции обеспечивают электроприводе астатизм, статическая ошибка по возмущению в установившемся режиме равна нулю, однако отклонения регулируемой величины по амплитуде при набросе нагрузки достигают 20% от установившегося значения в течение 0,2 с переходного процесса при последовательной коррекции с ПИД-регулятором и не превышают 6% при робастном управлении на протяжении значительно меньшего времени переходного режима.

На рис. 5 представлены графики кинетических (скоростных) ошибок электропривода по управлению при линейно возрастающем задающем воздействии. Установившаяся ошибка не превышает 0,005 рад/с при робастном управлении и 0,0048 рад/с при использовании ПИД-регулятора, что обеспечивается применением метода синтеза на основе критерия динамической точности и соответствующей эталонной модели в обоих случаях. При этом динамический выброс в системе с ПИД-регулятором при набросе нагрузки характеризуется двукратным превышением ам-

плитуды ошибки и существенно большим временем переходного процесса по сравнению алгоритмом робастного управления.

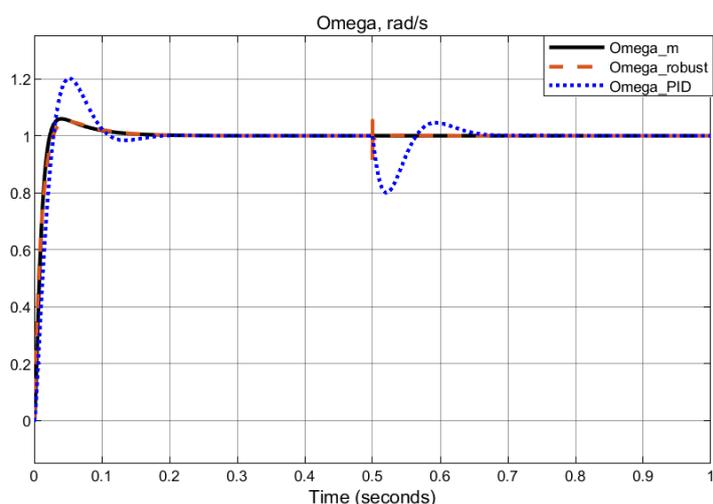


Рис. 4. Переходные характеристики скорректированного электропривода

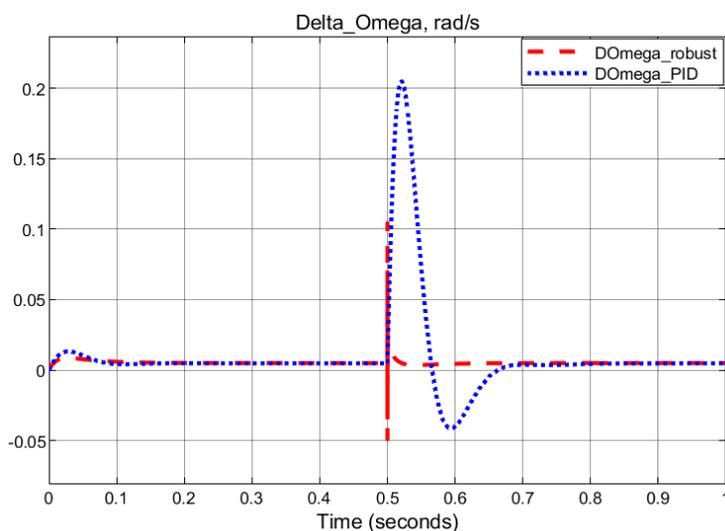


Рис. 5. Графики ошибок скорректированного электропривода

Таким образом, алгоритм робастного управления [9-12] по сравнению с методами последовательной коррекции [4, 6, 13-16] обеспечивает электроприводу свойство малой параметрической чувствительности в сравнительно широком диапазоне изменения параметров объекта управления, а также значительно лучшие динамические показатели при внешних возмущениях. При этом коэффициент k в выражении (4), характеризующий степень приближения процессов в системе к эталонным процессам, сравнительно невелик. Амплитуда управляющей функции $u(t)$ теоретически может принимать недопустимо большие значения, однако этот недостаток характерен и для классических методов последовательной коррекции, поскольку величина $u(t)$ зависит от параметров объекта управления и требований, предъявляемых к значениям выходных координат электропривода. Подбор соответствующих эталонных моделей, применение блоков ограничения и специальных схем или алгоритмов сглаживания скачкообразных изменений управляющего сигнала позволяет успешно применять рассмотренный метод робастного управления при проектировании систем управления электроприводов, функционирующих в различных режимах в условиях параметрических и координатных возмущений.

Список литературы

1. Юсупов Р.М., Громыко П.С., Панченко А.Е. Исследование эффективности сложных систем методами теории чувствительности и корреляционного анализа. Вопросы кибернетики. Теория чувствительности и ее применение: Сб. научных трудов. АН СССР, М., 1981.
2. В. С. Levy, R. Nikoukhah. Robust state-space filtering under incremental model perturbations subject to a relative entropy tolerance, IEEE Trans. Automat. Control, 2013. 58. P. 682–695.
3. Малёв Н.А., Погодицкий О.В., Цветкович А.М. Особенности применения теории чувствительности для анализа влияния параметрических возмущений на динамические свойства электромеханических преобразователей. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. 21(6). P. 101-110.

4. Башарин А.В. Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. Л.: Энергоиздат, 1982. 392 с.
5. Егоров В. Н. Динамика систем электропривода / В. Н. Егоров, В. М. Шестаков. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. 216 с.
6. Шрейнер Р. Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов. Екатеринбург: РГППУ, 2008. 279 с.
7. Furtat I., Fradkov A., Tsykunov A. Robust synchronization of linear dynamical systems with compensation of disturbances // Int. J. Robust and Nonlinear Control. 2014. Vol. 24, No. 17. P. 2774-2784.
8. Кучер Е.С., Комазенко М.А., Ромащенко А.И. Синтез систем векторного управления малочувствительных к изменениям параметров асинхронного электропривода // Доклады академии наук высшей школы российской федерации. 2017. № 2(35). С.61-72.
9. Крутько П.Д., Чхеидзе Г.А. Синтез алгоритмов управления следящих систем высокой динамической точности // Изв. Российской академии наук. Техническая кибернетика. 1992. №2. С. 3 – 13.
10. Крутько П.Д., Максимов А.И., Скворцов Л.М. Алгоритмы и программы проектирования автоматических систем. М.: Радио и связь, 1988. 306 с.
11. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002. 303 с.
12. Kang-Zhi Liu, Yu Yao. Robust Control: Theory and Applications. John Wiley & Sons, 2016. 460 pp.
13. Погодицкий О.В., Малёв Н.А., Ахунов Д.Д., Цветков А.Н. Расчёт и моделирование электроприводов с регуляторами различной конфигурации: лабораторный практикум. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. 156 с.
14. Погодицкий О.В., Малёв Н.А. Проектирование мехатронных систем. Часть 1. Анализ и синтез. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. 318 с.
15. Цветков А.Н., Малёв Н.А., Погодицкий О.В., Болонова М.С. Сравнительный анализ регуляторов положения различной конфигурации // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 9-10. С. 116-124.
16. Малёв Н.А. Синтез регулятора измерительного контура автоматического компенсатора для измерения термоЭДС / Н.А. Малёв, О.В. Погодицкий // Актуальные проблемы электронного машиностроения (АПЭП - 2016): Труды XIII международной научно-практической конференции. В 12 томах, Новосибирск, 03–06 октября 2016 года. Том 10. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2016. – С. 220-222.
17. Малёв Н.А., Погодицкий О.В., Чилева М.Р., Имамиев А.Р. Алгоритм параметрической идентификации электропривода постоянного тока с применением инверсной модели // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24, № 2. С. 160-174.

Малёв Николай Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, maleev@mail.ru, Россия, Казань, Казанский государственный энергетический университет,

Хаметханова Маргарита Романовна, студентка, rita0070@mail.ru, Россия, Казань, Казанский государственный энергетический университет

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE QUALITY OF ELECTRIC DRIVE OPERATION WITH ROBUST CONTROL GRADIENT ALGORITHM AND SEQUENTIAL CORRECTION

N.A. Malev, M.R. Khametkhanova

Control systems for electric drives of various technological sets often operate under conditions of parametric disturbances. The most characteristic parametric disturbances include changes in masses and moments of inertia of mechatronic and robotic systems, metalworking machines, guidance systems, etc. Changes in parameters lead to changes in the dynamic characteristics of electric drives and can cause a deterioration in the accuracy and quality of technological processes. In this regard, the development of a control algorithm that ensures low sensitivity (robustness) of the electric drive to parametric disturbances is a relevant and important task. The purpose of this work is a comparative analysis of the control algorithm for an electric drive of low parametric sensitivity using a reference model obtained on the basis of the dynamic accuracy criterion with the corresponding sequential correction method.

Key words: electric drive, control algorithm, parametric disturbances, accuracy, robustness, control quality.

Malev Nikolay Anatolyevich, candidate of technical sciences, docent, maleev@mail.ru, Russia, Kazan, Kazan State Power Energy University,

Khametkhanova Margarita Romanovna, student, rita0070@mail.ru, Russia, Kazan, Kazan State Power Energy University

ОСОБЕННОСТИ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХСТЕПЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНОЙ С РАДИАЛЬНО НАМАГНИЧЕННЫМ РОТОРОМ

А.Э. Соловьев, В.А. Смирнов

Трехстепенные электрические машины (ТЭМ) достаточно часто используются в составе электроприводов различного назначения в специализированных приборах и системах. Ключевой особенностью таких машин является то, что ротор имеет относительно статора не одну, как в классических электрических машинах, а три степени свободы. Поэтому при построении электроприводов на базе ТЭМ необходимо учитывать пространственный характер магнитного поля (в отличие от его «плоского» представления в классических машинах), которое меняется по законам, отличным от гармонического. Поэтому, хорошо известные принципы векторного управления синхронными машинами не могут быть непосредственно использованы при создании систем управления ТЭМ. Одним из возможных путей реализации векторного управления ТЭМ является использование кватернионов для описания пространственного положения векторов. В статье рассматриваются особенности кватернионного представления магнитных полей ТЭМ с радиально намагнитченным ротором (РНР) и формирования на их базе управляющих сигналов на обмотки статора.

Ключевые слова: трехстепенная электрическая машина, радиально намагнитченный ротор, векторное управление, кватернион, магнитное поле.

Трехстепенные электрические машины (ТЭМ) в последнее время находят достаточно широкое распространение в различных прецизионных приборах и системах. Известно несколько типов ТЭМ, однако их общей особенностью является то, что ротор имеет относительно статора не одну (как в классических электрических машинах), а три степени свободы [1, 2]. На рисунке 1 приведена конструктивная схема ТЭМ, имеющей радиально намагнитченный ротор (РНР) и система координат, описывающая его движение.

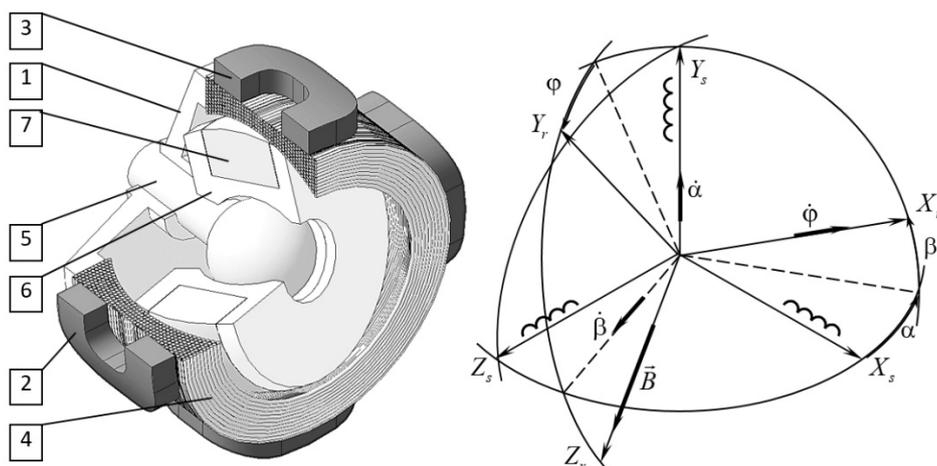


Рис. 1. ТЭМ с РНР и ее системы координат: 1 – статор; 2 и 3 – обмотки вращения; 4 – прецессионная обмотка; 5 – подвес; 6 – ротор; 7 – радиально намагнитченный магнит. $OX_s Y_s Z_s$ – система координат, связанная со статором; $OX_r Y_r Z_r$ – система координат, связанная с ротором

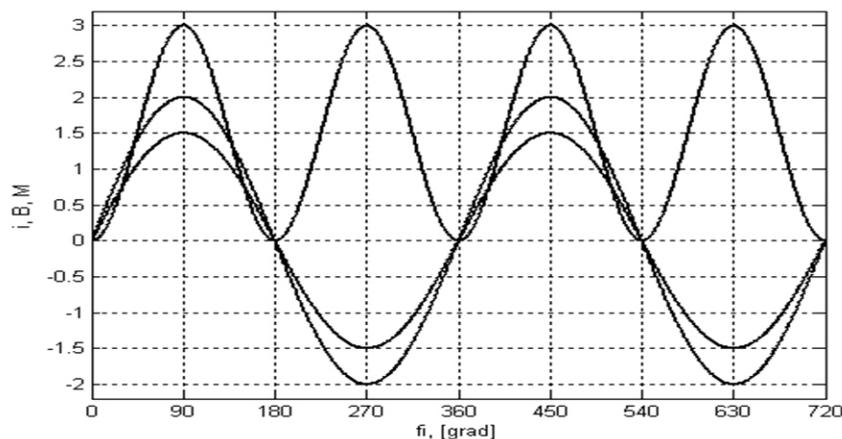


Рис. 2. Принцип действия прецессионной обмотки: B – вектор индукции ротор-магнита; i – ток в обмотке прецессии; M – момент прецессионной обмотки

На роторе ТЭМ расположен постоянный магнит, вектор \vec{B} магнитной индукции которого имеет радиальное направление. На статоре расположены три обмотки, магнитные оси (совпадающие с их геометрическими осями) которых взаимно перпендикулярны друг другу. Обмотка расположенная относительно оси OX_s обуславливает прецессионное движение ротора, то есть движение ротора, которое характеризуется углами α и β соответственно. Для управления прецессионным движением ротора-магнита на эту обмотку подается управляющее напряжение, частота которого совпадает с частотой вращения ротора-магнита. Для получения максимального значения электромагнитного момента прецессии необходимо обеспечить совпадение фазы пространственного положения вектора индукции ротора-магнита и фазы изменения напряжения (тока коррекции) в обмотке прецессии (рисунок 2).

При этом скорость прецессии определяется величиной тока в прецессионной обмотке, а направление – его фазой. То есть, для управления прецессионным движением на обмотку OX подается напряжение вида:

$$U_x = U_x^z \cos \phi - U_x^y \sin \phi$$

где $U_x^y = f(\alpha)$ и $U_x^z = f(\beta)$ – составляющие амплитуды напряжения на прецессионной обмотке.

Обмотки OY_s и OZ_s обуславливают вращение ротора относительно оси OX_r , которое характеризуется углом ϕ . Для управления вращательным движением ротора-магнита на эти обмотки подаются гармонически меняющиеся напряжения, сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол $\pi/2$, при этом частоты этих напряжений совпадают с частотой вращения ротора-магнита:

$$U_y = -U_0 \cos \phi \text{ и } U_z = -U_0 \sin \phi,$$

где U_0 – амплитуда напряжения обмоток вращения, знак минус в последних формулах обусловлен обеспечением направления собственного вращения ротора, которое указано на рисунке 1.

Для получения максимального значения электромагнитного момента вращения необходимо обеспечить опережение вектором потокосцепления магнитного поля статора на угол $\pi/2$ вектора \vec{B} магнитной индукции ротора. Таким образом, ТЭМ с РНР в плане реализации вращения ротора можно рассматривать как синхронную электрическую машину.

Это дает возможность реализовать векторное управление ТЭМ с РНР. Однако, в отличие от векторного управления классической синхронной машиной, вектор потокосцепления которой вращается в плоскости (и его положение характеризуется только одним углом), в данном случае этот вектор имеет пространственное движение и его положение характеризуется тремя углами. Это обуславливает особенности векторного управления ТЭМ с РНР.

Полные уравнения движения ТЭМ с РНР могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned} & J_y \ddot{\alpha} \cos^2 \beta + H \dot{\beta} \cos \beta + \dot{\alpha} \left[c_{pr} + (\Psi_x)^2 / R_x \times A_1(\alpha, \beta, \phi) + (\Psi_0)^2 / R_0 \times A_2(\alpha, \beta, \phi) \right] + \\ & + I_x \Psi_x \times A_3(\alpha, \beta, \phi) + i_0 \Psi_0 \times A_4(\alpha, \beta, \phi) - I_0 \Psi_0 \times A_5(\alpha, \beta, \phi) = M_\alpha^{pr} + M_y, \\ & J_z \ddot{\beta} - H \dot{\alpha} \cos \beta + \dot{\beta} \left[c_{pr} + (\Psi_x)^2 / R_x \times B_1(\alpha, \beta, \phi) + (\Psi_0)^2 / R_0 \times B_2(\alpha, \beta, \phi) \right] + \\ & + I_x \Psi_x \times B_3(\alpha, \beta, \phi) - i_0 \Psi_0 \times B_4(\alpha, \beta, \phi) + I_0 \Psi_0 \times B_5(\alpha, \beta, \phi) = M_\beta^{pr} + M_z, \\ & J_x (\ddot{\phi} + \ddot{\alpha} \sin \beta) + c_{vr} \dot{\phi} + \dot{\alpha} \left[(\Psi_x)^2 / R_x \times C_1(\alpha, \beta, \phi) + (\Psi_0)^2 / R_0 \times C_2(\alpha, \beta, \phi) \right] + \\ & + \dot{\beta} \left[(\Psi_x)^2 / R_x - (\Psi_0)^2 / R_0 \right] \times C_3(\alpha, \beta, \phi) - I_x \Psi_x \times C_4(\alpha, \beta, \phi) - \\ & - i_0 \Psi_0 \times C_5(\alpha, \beta, \phi) + I_0 \Psi_0 \times C_6(\alpha, \beta, \phi) = M_\phi^{pr} + M_x, \end{aligned}$$

где

$$M_\alpha^{pr} = i_x^z \Psi_x \times m_{\alpha 1}(\alpha, \beta, \phi) + i_x^y \Psi_x \times m_{\alpha 2}(\alpha, \beta, \phi), \quad M_\beta^{pr} = i_x^z \Psi_x \times m_{\beta 1}(\alpha, \beta, \phi) + i_x^y \Psi_x \times m_{\beta 2}(\alpha, \beta, \phi),$$

$$M_\phi^{pr} = i_x^z \Psi_x \times m_{\phi 1}(\alpha, \beta, \phi) + i_x^y \Psi_x \times m_{\phi 2}(\alpha, \beta, \phi),$$

$$i_x^y = U_x^y / R_x, \quad i_x^z = U_x^z / R_x, \quad I_x = \dot{\phi} \Psi_x / R_x, \quad i_0 = U_0 / R_0, \quad I_0 = \dot{\phi} \Psi_0 / R_0$$

A_j, B_j, C_j, m_j – коэффициенты, сложным образом зависящие от соответствующих углов; R_x, R_0 , и Ψ_x, Ψ_0 – соответственно активные сопротивления и амплитуды потокосцеплений обмотки прецессии и обмоток вращения; J_x, J_y, J_z – моменты инерции ротора относительно соответствующих осей, в дальнейшем будем считать; $H = J_x \dot{\phi}$ – кинетический момент; c_{pr}, c_{vr} – коэффициенты вязкого трения по соответствующим осям; M_x, M_y, M_z – иные моменты, действующие по соответствующей оси.

Таким образом, для управления движением ротора ТЭМ необходимо реализовывать обеспечить управление одновременно относительно всех трех его осей. Известно управление прецессионным движением ротора ТЭМ, когда это управление рассматривалось отдельно от вращения ротора, то есть при условии $\dot{\phi} = const$, что существенно упрощало алгоритм управления [3, 4]. Однако, такой способ управления обладает серьезным недостатком. Он не позволяет управлять ТЭМ при изменении скорости собственного вращения ротора. Что, учитывая инерционность ротора и, как следствие, длительность переходного процесса по скорости собственного вращения ротора, накладывает определенные ограничения на область применения ТЭМ.

Для реализации векторного управления ТЭМ необходимо определять и управлять взаимным пространственным положением двух векторов: вектора магнитной индукции (потокосцепления) ротора-м агнита и вектора потокосцепления статора [5-7]. Такое управление требует достаточно большого объема математических вычислений, время которых непосредственным образом влияет на качество всей системы управления в целом.

Одним из возможных путей построения системы управления ТЭМ, может быть использование кватернионных методов механики твердого тела, которые относятся к современным методам теоретической механики, успешно развивающимся в последние годы и нашедшим эффективное применение (помимо самой теоретической механики) в таких областях науки и техники, как навигация и управление движением, небесная механика и механика космического полета, приборостроение, робототехника [8-10].

В этих методах для описания движения используются гиперкомплексные переменные – кватернионы Гамильтона. Кватернионные модели движения, в отличие от классических моделей:

не имеют особых точек (не вырождаются для любых положений твердого тела в пространстве);

не содержат тригонометрических функций (или содержат их в небольшом количестве), присутствие которых в классических моделях осложняет аналитическое и численное (особенно на бортовых компьютерах) решение задач механики и управления движением;

имеют симметричные, а в ряде случаев и линейные или близкие к линейным структуры.

Кватернионные модели движения твердого тела основаны на описании его конечных поворотов с использованием параметров Родрига-Гамильтона.

Тогда, на основании систем координат, представленных на рисунке 1, может быть получен следующий кватернион, описывающий текущее положение вектора \vec{B}

$$\Lambda^r = \lambda_0^r + j_1 \lambda_1^r + j_2 \lambda_2^r + j_3 \lambda_3^r,$$

где: j_1, j_2, j_3 – соответственно орты осей поворотов по углам α, β, φ .

$$\lambda_0^r = \cos\left(\frac{\alpha^r}{2}\right) \cos\left(\frac{\beta^r}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi^r}{2}\right) - \sin\left(\frac{\alpha^r}{2}\right) \sin\left(\frac{\beta^r}{2}\right) \sin\left(\frac{\varphi^r}{2}\right),$$

$$\lambda_1^r = \sin\left(\frac{\alpha^r}{2}\right) \sin\left(\frac{\beta^r}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi^r}{2}\right) + \cos\left(\frac{\alpha^r}{2}\right) \cos\left(\frac{\beta^r}{2}\right) \sin\left(\frac{\varphi^r}{2}\right),$$

$$\lambda_2^r = \sin\left(\frac{\alpha^r}{2}\right) \cos\left(\frac{\beta^r}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi^r}{2}\right) + \cos\left(\frac{\alpha^r}{2}\right) \sin\left(\frac{\beta^r}{2}\right) \sin\left(\frac{\varphi^r}{2}\right),$$

$$\lambda_3^r = \cos\left(\frac{\alpha^r}{2}\right) \sin\left(\frac{\beta^r}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi^r}{2}\right) - \sin\left(\frac{\alpha^r}{2}\right) \cos\left(\frac{\beta^r}{2}\right) \sin\left(\frac{\varphi^r}{2}\right).$$

$\alpha^r, \beta^r, \varphi^r$ – соответственно текущие углы поворота ротора ТЭМ.

Желаемое положение вектора потокосцепления статора характеризуется кватернионом Λ^s , аналогичным кватерниону Λ^r , но определяемым через углы α^s и β^s , которые задаются непосредственно, и углом $\varphi^s = \varphi^r + \frac{\pi}{2}$, который определяется текущим положением ротора.

Тогда, если желаемый кватернион поворота вектора потокосцепления статора рассматривать как совокупность двух поворотов: поворота вектора магнитной индукции ротора и ошибки этого поворота относительно желаемого положения Λ^Δ , то есть:

$$\Lambda^s = \Lambda^r \circ \Lambda^\Delta,$$

то кватернион ошибки (необходимого доворота) будет определяться как:

$$\Lambda^\Delta = \tilde{\Lambda}^r \circ \Lambda^s,$$

где $\tilde{\Lambda}^r$ кватернион, сопряженный с кватернионом Λ^r .

Структурная схема, реализующая систему векторного управления ТЭМ с РНР представлена на рисунке 3. Отметим, что при условии малости углов α и β вычисления углов доворота ротора ТЭМ осуществляется исходя из компонентов кватерниона ошибки Λ^Δ по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \alpha^\Delta &= 2(\lambda_0^\Delta \lambda_2^\Delta - \lambda_1^\Delta \lambda_3^\Delta), \\ \beta^\Delta &= 2(\lambda_0^\Delta \lambda_3^\Delta + \lambda_1^\Delta \lambda_2^\Delta), \\ \sin \varphi^\Delta &= 2(\lambda_0^\Delta \lambda_1^\Delta - \lambda_2^\Delta \lambda_3^\Delta), \\ \cos \varphi^\Delta &= (\lambda_0^\Delta)^2 - (\lambda_1^\Delta)^2 + (\lambda_2^\Delta)^2 - (\lambda_3^\Delta)^2. \end{aligned}$$

Напряжения формируются на основании этих углов по классическим алгоритмам (например, с помощью ПИ-регулятора) и через преобразователь напряжения подаются на обмотки статора. Текущее положение ротора относительно статора ТЭМ снимается с соответствующих датчиков углов.

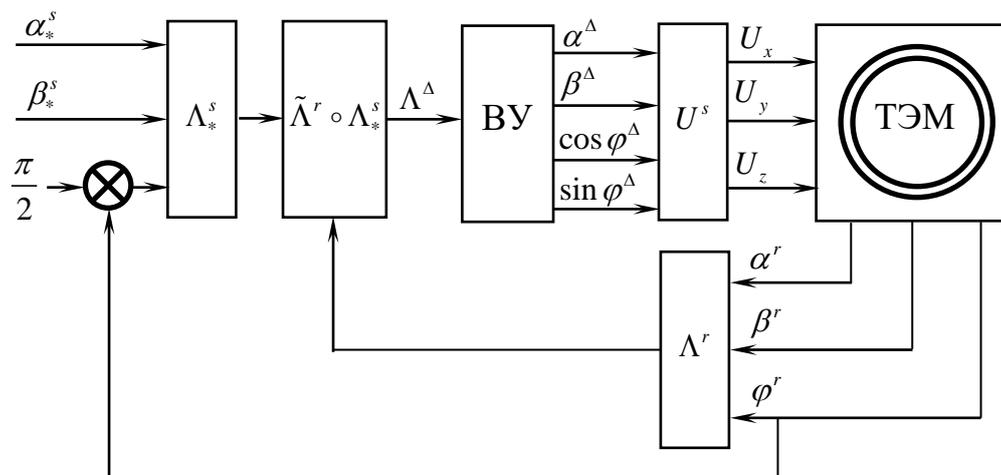


Рис. 3 Структурная схема системы управления ТЭМ с РНР

Таким образом, векторное управление ТЭМ с РНР с использованием кватернионных вычислений позволяет избежать прямых и обратных преобразований координат Парка и достаточно просто реализуемо на практике. При этом существенным образом экономятся вычислительные ресурсы.

Список литературы

1. Милях А.Н., Барабанов В.А., Двойных В.В. Трехступенные электрические машины. Киев, Наукова думка, 1979. 312с.
2. Гирскопические приводы на базе трехступенных электрических машин. Соловьев А.Э., Сухинин Б.В., Сурков В.В., Козлова Е.С. Монография Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. 215 с.
3. Соловьев А.Э., Сухинин Б.В., Сурков В.В., Феофилов Е.И. Аналитическое конструирование квазиоптимального регулятора трехступенной электрической машины // Известия вузов. Электромеханика. - 2004. № 5. С. 20-24
4. Соловьев А.Э., Сухинин Б.В., Сурков В.В. Аналитическое конструирование оптимального регулятора привода координатора цели // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2005 г. № 1. С. 76-81
5. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». Иваново, 2008. 298 с.
6. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006. 265 с.
7. Муртазин Т.Э., Титов В.Г. Синхронный электропривод с векторным управлением // Интеллектуальная электротехника, 2021. №2. С. 41-52.
8. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. С. 281
9. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1973. С. 310.
10. Челноков Ю.Н. Кватернионные модели и методы динамики, навигации и управления движением. М.: Физматлит, 2011. С. 560.

Соловьев Александр Эдуардович, д-р техн. наук, доцент, заместитель директора института, заведующий кафедрой. ivts.tulgu@rambler.ru. Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Смирнов Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент, yeld071@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский Государственный Университет

FEATURES OF VECTOR CONTROL OF A THREE-STAGE ELECTRIC MACHINE WITH A RADIALLY MAGNETIZED ROTOR

A.E. Solovev, V.A. Smirnov

Three-stage electric machines (TEM) are quite often used as part of electric drives for various purposes in specialized devices and systems. The key feature of such machines is that the rotor has not one degree of freedom relative to the stator, as in classical electric machines, but three degrees of freedom. Therefore, when building electric drives based on TEM, it is necessary to take into account the spatial nature of the magnetic field (unlike its "flat" representation in classical machines), which varies according to laws other than harmonic. Therefore, the well-known principles of vector control of synchronous machines cannot be directly used in the creation of TEM control systems. One of the possible ways to implement vector control of TEM is the use of quaternions to describe the spatial position of vectors. The article discusses the features

of the quaternion representation of the magnetic fields of a TEM with a radially magnetized rotor (RNR) and the formation of control signals on the stator windings based on them.

Key words: three-stage electric machine, radially magnetized rotor, vector control, quaternion, magnetic field.

Soloviev Alexander Eduardovich, doctor of technical sciences, docent, deputy director of the institute, head of the department, ivs.tulgu@rambler.ru, Russia, Tula, Tula state University,

Smirnov Vladimir Aleksandrovich, candidate of technical sciences, docent, veld071@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.3.07

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-375-376

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ КОММУТАЦИЕЙ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В.А. Смирнов, А.Э Соловьев

Рассмотрено влияние способа коммутации на характеристики бесколлекторных двигателей постоянного тока. Показано, что использование векторного управления обеспечивает наибольшую достижимую установившуюся скорость, а использование дискретной 180-градусной коммутации обеспечивает наибольшее быстродействие в переходном процессе.

Ключевые слова: бесколлекторный двигатель, управление коммутацией.

В настоящее время широко используются приводы на основе бесколлекторных двигателей постоянного тока, неотъемлемой частью которых является система управления, осуществляющая коммутацию обмоток. Наибольшие возможности по управлению характеристиками привода обеспечивает векторное управление, позволяющее точно и плавно менять вектор магнитного поля статора. Недостатками такого управления при классическом подходе [1] является необходимость использования датчиков тока обмоток, соответствующего контура регулирования и, соответственно, усложнение блока управления.

Возможен и более простой вариант коммутации обмоток, при котором вектор поля статора управляется только по сигналам датчика положения ротора (ДПР). При этом, как отмечается в [2], возможно использование как аналоговых, так и дискретных датчиков положения ротора. Использование аналоговых датчиков положения ротора, как отмечается в работах [3], позволяет реализовать плавное изменение вектора магнитного поля статора, дискретное управление проще и дешевле. Однако в современных следящих приводах наличие точного датчика угла является обязательным, и он же используется в качестве датчика положения ротора. Применение более сложных алгоритмов управления сегодня также не является проблемой в связи с распространением современных микроконтроллеров, имеющих развитые функциональные возможности при весьма невысокой стоимости. Поэтому при построении современных следящих приводов имеет смысл ориентироваться на векторное управление по сигналам датчика угла без использования датчиков тока.

Рассмотрим различные способы управления коммутацией и их характеристики. Типовая схема подключения обмоток трехфазного двигателя к драйверу показана на рис.1.

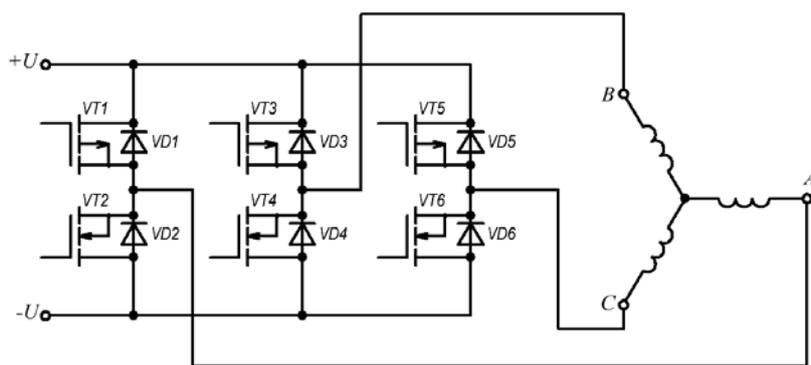
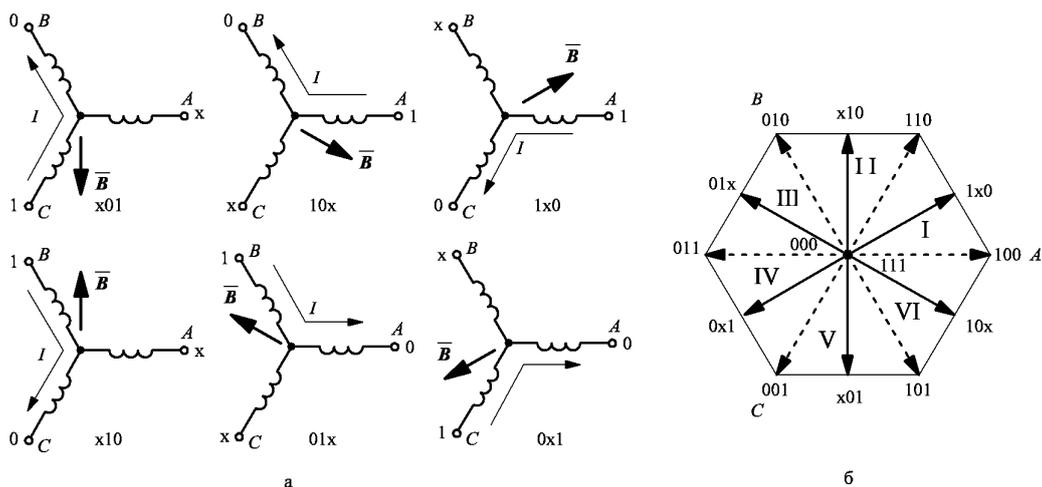


Рис. 1. Подключение двигателя к драйверу

Для трехфазных двигателей, в зависимости от времени открытого состояния силовых ключей, [2] различают 120°-ную и 180°-ную коммутации. В первом случае на каждом этапе коммутации к источнику питания подключаются две фазы обмотки якоря, во втором – три.

При 120°-ной коммутации положение вектора магнитной индукции статора будет меняться, как показано на рис.2.

Будем считать, что нулевому значению электрического угла соответствует положение фазы А. Такое положение вектор магнитной индукции ротора примет, когда фаза А подключена к положительному полюсу источника питания, а фазы В и С – к отрицательному. В этом случае таблица коммутации ключей в зависимости от угла положения ротора примет вид, показанный в таблице 1.



Рису. 2. Положение вектора магнитной индукции статора при 120°-ной коммутации. Положительное напряжение на выводе фазы (открыт "верхний" ключ) обозначено единицей, отрицательное напряжение на выводе фазы (открыт "нижний" ключ) обозначено нулем, состояние, когда оба ключа закрыты, обозначено знаком x

Таблица 1

Управление подключением фаз при 120°-ной коммутации

Сектор	Угол	Состояние ключей фаз		
		A	B	C
I (V)	$-30^\circ < \vartheta \leq 30^\circ$	x	0	1
II (VI)	$30^\circ < \vartheta \leq 90^\circ$	1	0	x
III (I)	$90^\circ < \vartheta \leq 150^\circ$	1	x	0
IV (II)	$150^\circ < \vartheta \leq 210^\circ$	x	1	0
V (III)	$210^\circ < \vartheta \leq 270^\circ$	1	0	x
VI (IV)	$270^\circ < \vartheta \leq 330^\circ$	0	x	1

На рис.2 и в таблице 1 учтено, что для создания максимального вращающего момента положение вектора магнитной индукции статора должно быть перпендикулярно вектору магнитной индукции ротора, поэтому номера секторов, определяющие положение вектора магнитной индукции статора (указаны в скобках) сдвинуты относительно секторов положения вектора магнитной индукции ротора (указаны без скобок) на 90°.

При 180°-ной коммутации положение вектора магнитной индукции статора будет меняться, как показано на рис.3. Разбиение на сектора и коммутация будет иметь вид, показанный в таблице 2.

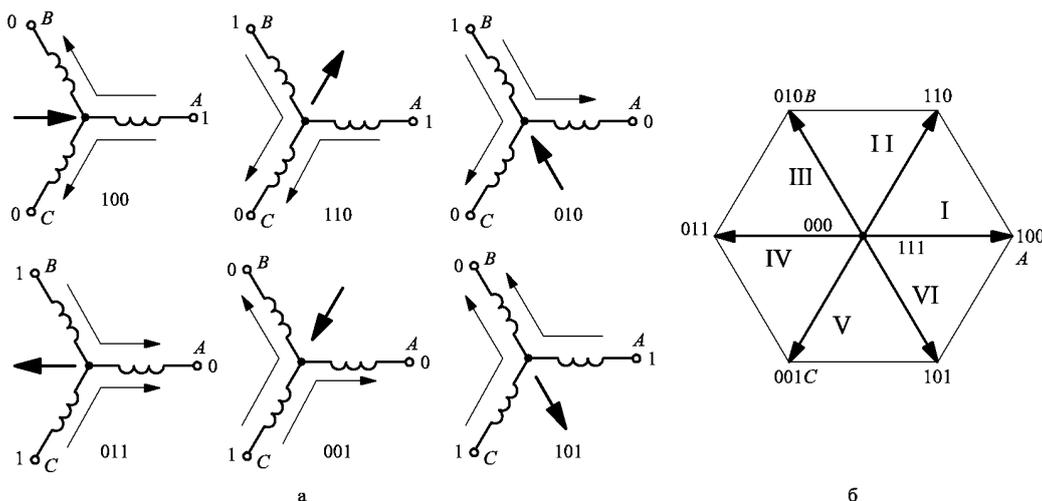


Рис. 3. Положение вектора магнитной индукции статора при 180°-ной коммутации. Положительное напряжение на выводе фазы (открыт "верхний" ключ) обозначено единицей, отрицательное напряжение на выводе фазы (открыт "нижний" ключ) обозначено нулем

Поскольку при 180°-ной коммутации подключены все три обмотки, возможно плавное управление моментом путем перераспределения токов между обмотками. В пределах сектора (рис.3) положение вектора магнитного момента можно задать в виде суммы двух векторов. Например, для сектора I в виде суммы векторов "100" (фаза A подключена к плюсу источника питания, фазы B и C – к минусу) и "110" (фазы B и C подключены к плюсу источни-

ка питания, фаза *C* – к минусу). Используя подход, предложенный в работе [4], получим схему коммутации, показанную в таблице 3. Управляющие сигналы U_0, U_1, U_2, U_3 в этом случае определяются в соответствии со структурной схемой на рис.4.

В данном случае управляющие сигналы соответствуют величине ШИМ-сигнала на соответствующей обмотке и могут меняться от 0 до значения PWM_max .

Таблица 2

Управление подключением фаз при 180°-ной коммутации

Сектор	Угол	Состояние ключей фаз		
		A	B	C
I (III)	$0^\circ < \vartheta \leq 60^\circ$	0	1	0
II (IV)	$60^\circ < \vartheta \leq 120^\circ$	0	1	1
III (V)	$120^\circ < \vartheta \leq 180^\circ$	0	0	1
IV (VI)	$180^\circ < \vartheta \leq 240^\circ$	1	0	1
V (I)	$240^\circ < \vartheta \leq 300^\circ$	1	0	0
VI (II)	$300^\circ < \vartheta \leq 360^\circ$	1	1	0

Таблица 3

Управление подключением фаз при векторном управлении

Сектор	Угол	Состояние фаз		
		A	B	C
I (III)	$0^\circ < \vartheta \leq 60^\circ$	U_0	U_3	U_2
II (IV)	$60^\circ < \vartheta \leq 120^\circ$	U_0	U_1	U_3
III (V)	$120^\circ < \vartheta \leq 180^\circ$	U_2	U_0	U_3
IV (VI)	$180^\circ < \vartheta \leq 240^\circ$	U_3	U_0	U_1
V (I)	$240^\circ < \vartheta \leq 300^\circ$	U_3	U_2	U_0
VI (II)	$300^\circ < \vartheta \leq 360^\circ$	U_1	U_3	U_0

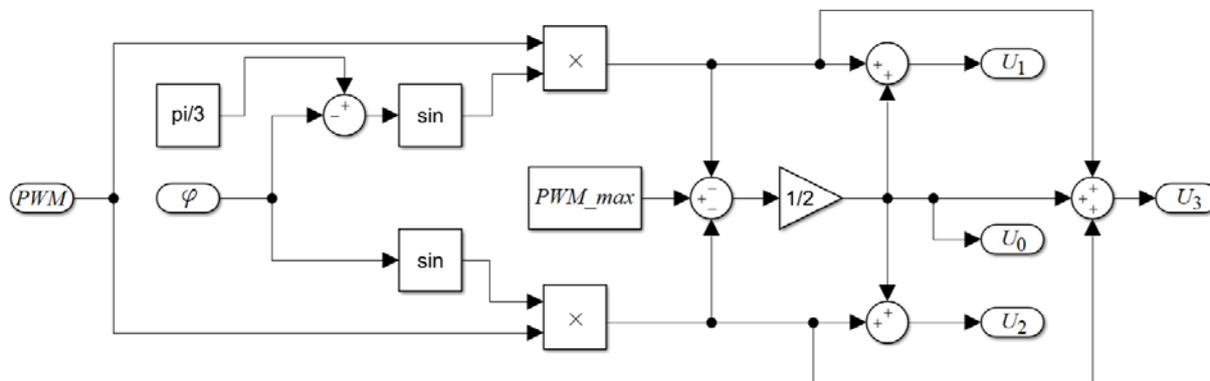


Рис. 4. Структурная схема формирования сигналов коммутации фаз при векторном управлении

Угол φ соответствует электрическому углу в пределах сектора и определяется по электрическому углу ϑ в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5

Определение угла в пределах сектора по электрическому углу

Сектор	Определение сектора	Вычисление угла φ
I	$0^\circ < \vartheta < 60^\circ$	ϑ
II	$60^\circ < \vartheta < 120^\circ$	$\vartheta - 60^\circ$
III	$120^\circ < \vartheta < 180^\circ$	$\vartheta - 120^\circ$
IV	$180^\circ < \vartheta < 240^\circ$	$\vartheta - 180^\circ$
V	$240^\circ < \vartheta < 300^\circ$	$\vartheta - 240^\circ$
VI	$300^\circ < \vartheta < 360^\circ$	$\vartheta - 300^\circ$

Для сравнения указанных трех способов управления было проведено численное моделирование в системе MatLab. Обобщенная структурная схема модели показана на рис.5.

Результаты моделирования разгона двигателя при подаче сигнала ШИМ максимально возможного значения показаны на рис.6 – рис.8.

Сравнительные характеристики приведены в таблице 6.

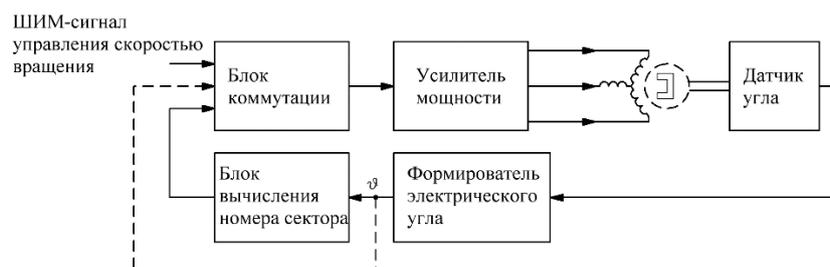


Рис. 5. Структурная схема управления бесколлекторным двигателем. Пунктиром показана связь, необходимая только при векторном способе управления

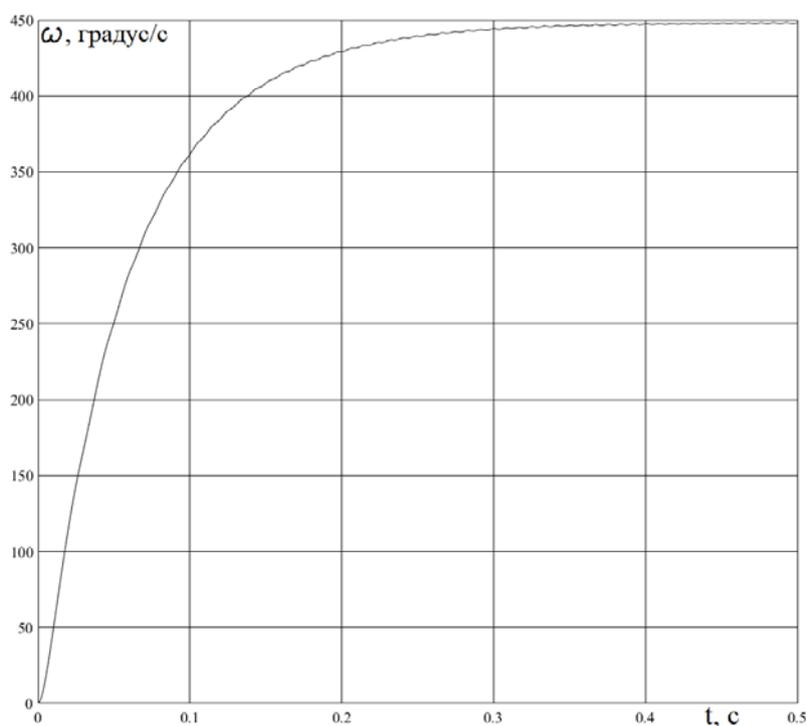


Рис. 6. Переходный процесс в приводе с дискретной 120-ой коммутацией

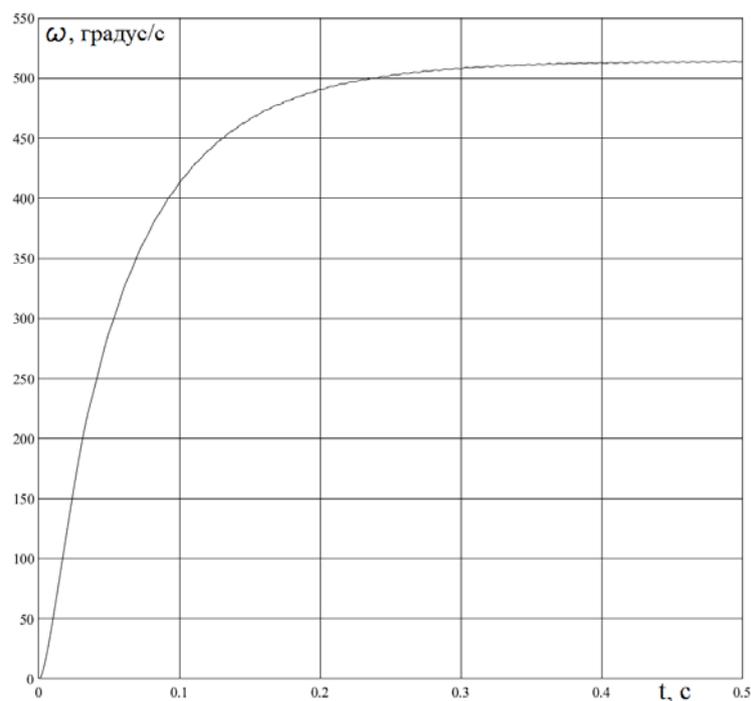


Рис. 7. – Переходный процесс в приводе с дискретной 180-ой коммутацией

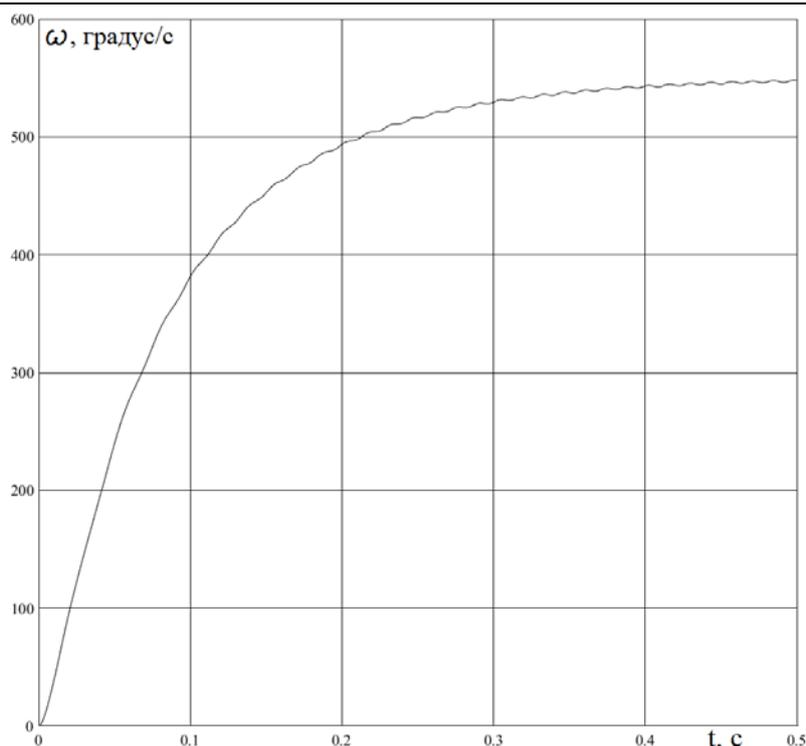


Рис. 8. Переходный процесс в приводе с векторным управлением

Таблица 6

Характеристики двигателя при различных способах коммутации

Параметр	Способ коммутации		
	120°-ный	180°-ный	векторный
Установившаяся скорость, градус/с	448	514	550
Максимальный момент в процессе разгона, Н·м	183	198	159
Время переходного процесса, с	0,178	0,132	0,186
Пульсации момента, Н·м	14	14,6	22,3
Пульсации скорости, градус/с	0,8	0,8	2

Сразу можно отметить, что при использовании 120°-ной коммутации использование двигателя по быстродействию и по моменту будет хуже, чем при 180°-ной, поскольку эквивалентное сопротивление и эквивалентная индуктивность обмоток в 1,5 раза больше, чем при 180°-ной. Это подтверждается и результатами моделирования.

Векторная коммутация обеспечивает наибольшую возможную скорость, однако пиковый момент оказывается меньше. Кроме того, время переходного процесса также оказывается самым большим. Таким образом, целесообразна комбинация 180°-ной коммутации (для переходных режимов) и векторной коммутации для установившегося режима работы.

Список литературы

1. Сравнительная оценка различных способов управления коммутацией вентильных двигателей по энергетическим показателям и регулировочным свойствам // Воронин С.Г., Курносоев Д.А., Кульмухаметова А.С.// Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» – 2013, №1, с.96–102;
2. Исследование пульсаций момента тихоходных бесконтактных двигателей постоянного тока с дискретным датчиком положения ротора // Воронин С. Г., Лифанов В. А., Шумихин Б. Г. // Электричество 1977, №11, с.54-58;
3. Пульсации электромагнитного момента бесконтактного двигателя постоянного тока // Сапсалаев А.В., Савин Н.П., Харитонов С.А., Овчинникова О.Е. // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. Сборник трудов XV международной научно-практической конференции, 2018. – с.369-373.
4. Калачев Ю. Н. Векторное регулирование (заметки практика) // Изд-во ЭФО, 2013. – 63 с.

Смирнов Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент, yeld071@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Соловьев Александр Эдуардович, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, soaled@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

THE INFLUENCE OF THE METHOD OF CONTROLLING THE COMMUTATION OF BRUSHLESS DC MOTORS ON THEIR CHARACTERISTICS

V.A. Smirnov, A.E. Soloviev

The influence of the switching method on the characteristics of brushless DC motors is considered. It is shown that the use of vector control provides the highest achievable steady-state speed, and the use of discrete 180-degree commutation provides the highest speed in the transient process.

Key words: brushless motor, switching control.

Smirnov Vladimir Aleksandrovich, candidate of technical sciences, docent, veld071@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Soloviov Alexander Eduardovich, doctor of technical sciences, docent, head of department, soaled@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 681.5

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-381-382

МОДЕЛИРОВАНИЕ И НЕЛИНЕЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕГОЛОНОМНЫМ АВТОМОБИЛЕПОДОБНЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ, ОТСЛЕЖИВАЮЩИМ ТРАЕКТОРИЮ

В.Я. Фролов, Ю. Бенслиман

Предметом данной статьи является задача управления мобильным роботом, движущимся по плоскости без препятствий, и, в частности, использование методов обратной связи для достижения заданной задачи движения. В этой статье представлено простое и эффективное решение задачи отслеживания траектории движения мобильного робота с использованием ПИД-регулятора. В предлагаемом способе используется линеаризованная модель мобильного робота. Процедура синтеза позволяет настроить ПИД-регулятор с учетом номинальной производительности и надежности в качестве характеристик управления. Автономные мобильные роботы находят широкое применение во многих областях, таких как добыча полезных ископаемых, освоение космоса и в сфере услуг, и в промышленности. Мобильный робот с дифференциальным приводом (МРДП) - один из таких роботов, который приобрел широкую популярность благодаря своей простоте и удобству управления. Методы управления, применяемые на мобильных роботах, в целом остаются сложными и требуют высокого уровня теоретических и прикладных аспектов. Метод управления, используемый в нашем случае, представляет собой нелинейное управление на основе ПИД-регулятора. Неопределенность мобильного робота из-за неточности в конструкции механического робота и неточности в пространстве для соединения, проявляемой приводами мобильного робота, приводит к накопленному дрейфу и отклонению от желаемой позы робота. Предполагается также, что мобильный робот работает из-за некоторого случайного возмущения, представленного нагрузкой, которое очень распространено в зонах управления системой.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, линеаризованная модель, Мобильные роботы, Отслеживание траектории, Производительность.

Колесный мобильный робот (КМР) имеет четыре ведущих колеса, которые определяют направление движения робота посредством направления вращения и скорости колес [1,2]. Для функционирования КМР используются четыре мотор-редуктора постоянного тока, причем каждое колесо оснащено отдельным двигателем. Колеса, расположенные с одной стороны (левой или правой), синхронизированно работают в паре, согласно иллюстрации на рис. 1, для того чтобы следовать определенной траектории робота [3,4]. Данная структурная схема МРДП определяет обобщенную траекторию, описывающую движение мобильного, в двухмерной плоскости. Такие колесные роботы называются мобильными роботами с дифференциальным приводом. В статье представлено математическое описание МРДП, движущегося по плоской поверхности [5-7].

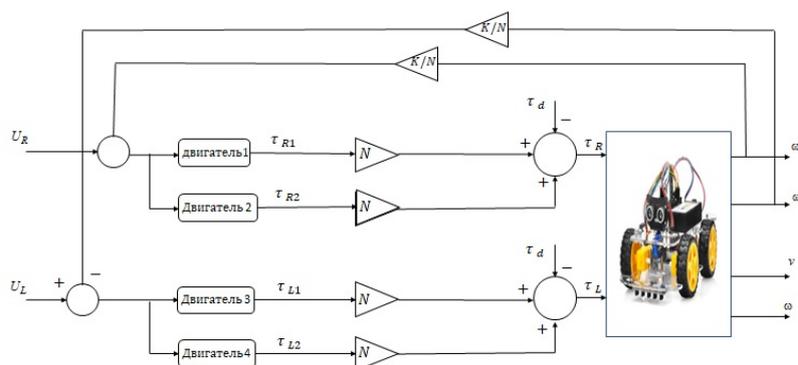


Рис. 1. Структурная схема МРДП с исполнительными механизмами [составлено авторами]

Обычно положение МРДП определяется в его среде на основе двух систем координат: глобальной системы $\{G\}$ ($0_G; x_G; y_G$) и локальной системы $\{L\}$ ($A; x_L; y_L$), как показано на рис. 2 [8-10].

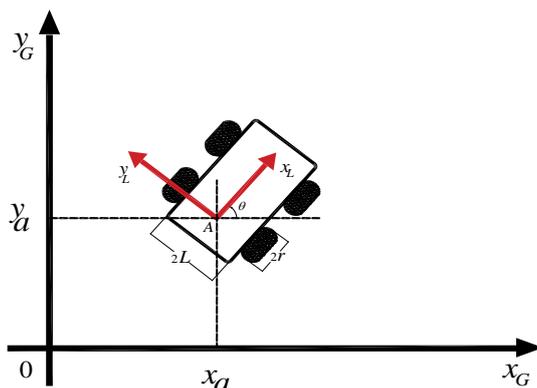


Рис. 2. Представление систем координат МРДП [составлено авторами]

Как показано на рис.2, координаты x_a и y_a обозначают положение МРДП в глобальной системе координат. Условные обозначения, используемые в статье, представлены в таблице 1.

Исследование движения МРДП разделено на три части, включая кинематику, динамику и проектирование системы управления [11-13].

1. Модель мобильного робота с дифференциальным приводом

1.1. Кинематическая модель МРДП. Кинематическое моделирование имеет дело с геометрическими соотношениями, которые управляют системой, и изучает математику движения без учета воздействующих сил. Таким образом, кинематика является наиболее фундаментальным изучением поведения механических систем для моделирования, анализа и имитации любой конструкции системы управления [14-16].

Робот не способен совершать боковые перемещения или не может двигаться в сторону. Это ограничение называется неголономным. Учет таких неголономных ограничений производится путем определения скорости центральной точки А в локальной системе координат и ее обнуления. Данное ограничение транслируется в глобальную систему координат, ассоциированную со скоростью точки А, с использованием уравнения (1):

$$-x_a^G \sin \theta + y_a^G \cos \theta = 0, \quad (1)$$

где $q^G = [x_a^G \quad y_a^G \quad \theta]^T$ – координата точки (А) в глобальной системе x ; θ – угол наклона робота к горизонту.

В целях упрощения модели предполагается, что у каждого колеса есть только одна точка соприкосновения с землей, а продольное и поперечное скольжение отсутствует. Скорости контактных точек в локальной системе координат коррелируют со скоростями колес согласно уравнения (2):

$$\begin{aligned} V_R &= r\omega_R, \\ V_L &= r\omega_L \end{aligned} \quad (2)$$

где V_R, V_L – скорость правой и левой пары колес; ω_R, ω_L – угловая скорость правой и левой пары колес.

Линейная и угловая скорости МРДП, связанные со скоростями колес и геометрическими параметрами робота, приведены в [6] следующим образом:

$$\begin{aligned} v &= (V_R + V_L)/2, \\ \omega &= (V_R - V_L)/2L \end{aligned} \quad (3)$$

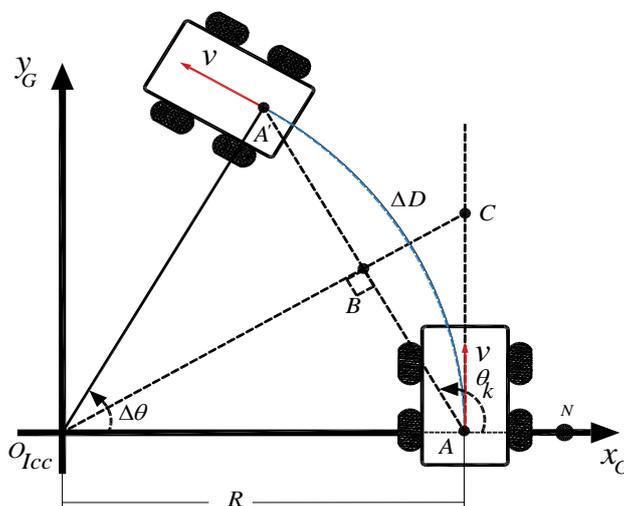


Рис. 3. Новое положение и ориентация МРДП
[составлено авторами]

Для определения положения и ориентации нового МРДП считается, что робот перемещается из точки A с положением (x_{-1}, y_{-1}) и ориентацией $(\theta_{-1} = \angle NAC)$ в точку A' по дуге окружности с мгновенным центром кривизны (O_{ICC}) [17].

Приращение расстояния, обозначаемое (ΔD) , и ориентации, обозначаемой $(\Delta\theta)$. Как показано на рис.3, на основе треугольной зависимости угол $(\angle CAB = \Delta\theta/2)$ и новая ориентация МРДП [18-20]. задаются с помощью (4):

$$\theta = \theta_{-1} + \Delta\theta/2, \quad (4)$$

Учитывая, что приращение расстояния и ориентации невелико, то $AA' = \Delta D$ и кинематическое уравнение МРДП задается формулой:

$$q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{-1} + \Delta x \\ y_{-1} + \Delta y \\ \theta_{-1} + \Delta\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{-1} + \Delta D \cos(\theta_{-1} + \Delta\theta/2) \\ x_{-1} + \Delta D \sin(\theta_{-1} + \Delta\theta/2) \\ \theta_{-1} + \Delta\theta \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Уравнение (5) также называется навигационным уравнением. Анализ и проектирование навигационной системы основаны на уравнении (5).

Скорости МРДП могут быть получены также в инерциальной системе отсчета следующим образом:

$$\dot{q}^L = \begin{bmatrix} \dot{x}_A^L \\ \dot{y}_A^L \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \cos \theta & \frac{r}{2} \cos \theta \\ \frac{r}{2} \sin \theta & \frac{r}{2} \sin \theta \\ \frac{r}{2L} & \frac{-r}{2L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_R \\ \omega_L \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где $q^L = [x_L^G \quad y_L^G \quad \theta]^T$ координата точки A в кадре робота.

Уравнение (6) представляет собой прямую кинематическую модель МРДП.

Другая форма кинематической модели описывает поведение робота относительно линейных и угловых скоростей МРДП, которое может быть записано следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_A^G \\ \dot{y}_A^G \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}, \quad (7)$$

Скорости МРДП в локальную систему также могут быть представлены в терминах скоростей центральной точки A в каркасе робота следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_A^L \\ \dot{y}_A^L \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & 0 \\ \frac{r}{2L} & \frac{-r}{2L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_R \\ \omega_L \end{bmatrix}, \quad (8)$$

Из уравнения (8) мы можем иметь:

$$\begin{bmatrix} \omega_R \\ \omega_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r} & \frac{L}{r} \\ \frac{1}{r} & \frac{-L}{r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}, \quad (9)$$

Скорости центра масс C , представленные в глобальной инерциальной системе отсчета, задаются формулой:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_A^L \\ \dot{y}_A^L \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -d \sin \theta \\ \sin \theta & d \cos \theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}, \quad (10)$$

1.2. Динамическая модель МРДП. Динамическое моделирование робота — это изучение движения, при котором моделируются и изучаются силы и энергии. Моделирование привода необходимо для определения взаимосвязи между управляющим сигналом и входным сигналом механической системы.

При моделировании двигателей постоянного тока и для получения линейной модели гистерезисом и падением напряжения на щетках двигателя пренебрегают

В этом подразделе представлено динамическое поведение механизмов МРДП, основанных на подходе Ньютона-Эйлер [21,22].

Рассмотрим диаграмму МРДП; на рис.4 показаны силы, действующие на МРДП.

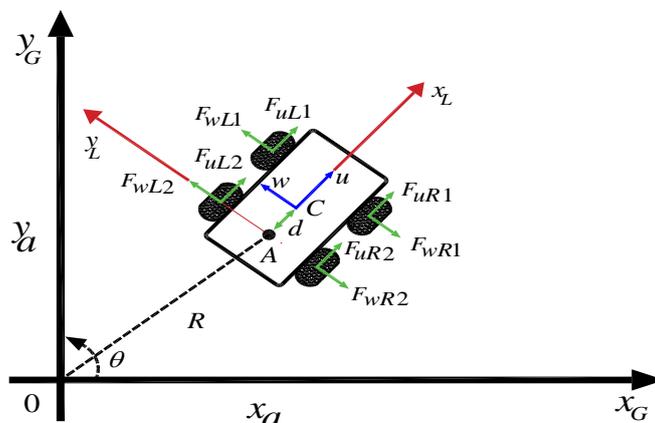


Рис. 4. Активные силы МРДП [составлено авторами]

На рис.4 положение, скорость и ускорение МРДП представлены в глобальной системе отсчета с использованием полярной системы координат, а уравнения (11) разделены с использованием законов движения Ньютона в системе отсчета робота:

$$M\dot{v} - Md\omega^2 = 2(\tau_R + \tau_L)/r \tag{11}$$

$$(Md^2 + J)\dot{\omega} + Mdv\omega = 2L(\tau_R + \tau_L)/r$$

где τ_R, τ_L — электромагнитные моменты, развиваемые электродвигателями, $N.m$.

Уравнения (11) представляют динамическую модель МРДП с учетом неголономных ограничений.

2. Проектирование системы управления. ПИД-регулятор использовался для внутреннего контура (низкий уровень) для регулирования опорных скоростей колес робота, в то время как ПД-контроллер использовался в качестве внешнего контура (высокий уровень) для регулирования положения робота. Предлагаемая схема управления, показанная на рис.5, имеет два основных контроллера: внешний и внутренний контроллер.

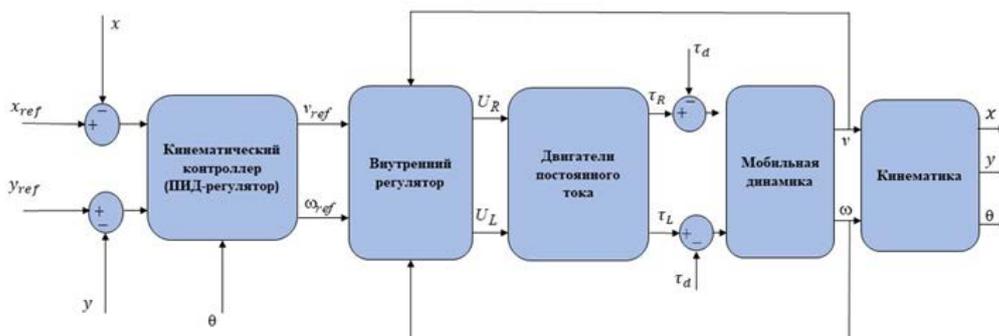


Рис. 5. Структурная схема управления с замкнутым контуром [составлено авторами]

Внешний контроллер, связанный с кинематической моделью робота, принимает в качестве входных данных погрешности между исходным и реальным положением. Внешний контроллер использует эти данные для расчета исходной линейной и угловой скоростей, которые необходимы для перемещения робота по заданной траектории.

Внутренний контроллер принимает в качестве входных данных исходные линейную и угловую скорости, подаваемым высокоуровневым контроллером. Внутренний контроллер изменяет напряжение, подаваемое на двигатели мобильного робота, чтобы корректирует положение и ориентацию робота для следования заданной траектории.

2.1 Регулятор низкого уровня. При использовании линейной и угловой скорости по формуле (3), то значения ускорений для скорости робота и угловой скорости ориентации задаются по формуле:

$$\dot{v} = (\dot{V}_R + \dot{V}_L)/2 \tag{12}$$

$$\dot{\omega} = (\dot{V}_R - \dot{V}_L)/2L$$

Проектируя низкоуровневую систему управления таким образом, чтобы она имела экспоненциально стабильный динамический отклик с высокими динамическими характеристиками, можно спроектировать высокоуровневый контроллер с учетом линейного динамического отклика на низком уровне.

2.2 Регулятор высокого уровня. Для создания высокоуровневого контроллера будет использоваться математическая модель МРДП kinematic. Следует отметить, что кинематическая модель колесного робота этого типа классифицируется как нелинейная и включает неголономные ограничения. тогда уравнение, связывающее зелье со скоростью робота и угловой скоростью ориентации, задается формулой [23,24]:

$$\begin{bmatrix} v_{ref} \\ \omega_{ref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ \frac{-1}{d} \sin \theta & \frac{1}{d} \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{ref} & e_x \\ y_{ref} & e_y \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где $e_x = x_{ref} - x$ - погрешность текущего и желаемого положения по оси X ; $e_y = y_{ref} - y$ - погрешность текущего и желаемого положения по оси y .

3. Результаты моделирования. В этом разделе демонстрируются несколько результатов тестирования предлагаемой системы управления на основе МРДП с использованием MATLAB/ SIMULINK. Моделирование осуществляется путем отслеживания двух различных желаемых траекторий с помощью высокоуровневой и низкоуровневой системы управления МРДП. Различные действия, которые должны выполняться мобильным роботом, такие как отслеживание круга, отслеживание линии, были проверены путем генерации требуемых траекторий.

Случай 1: Отслеживание робота по круговой траектории:

Как показано на рис. 5, траектория робота повторяет исходную круговую траекторию радиусом $1 M$. Начальное положение робота равно $(0,0)$

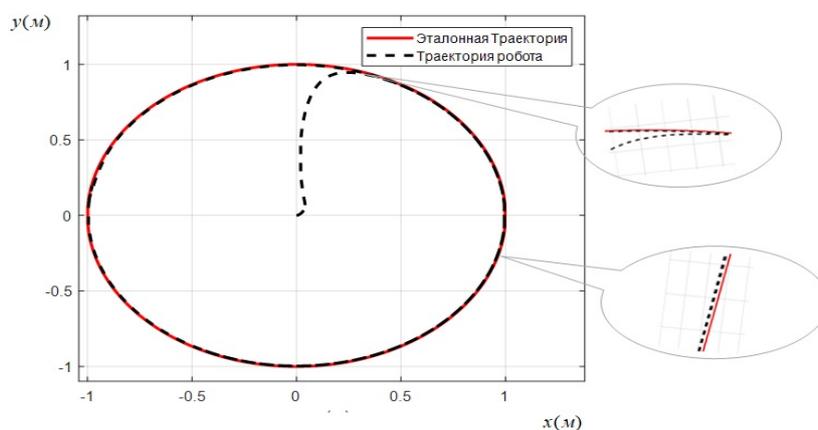


Рис. 6. Отслеживание круговой траектории мобильного робота [составлено авторами]

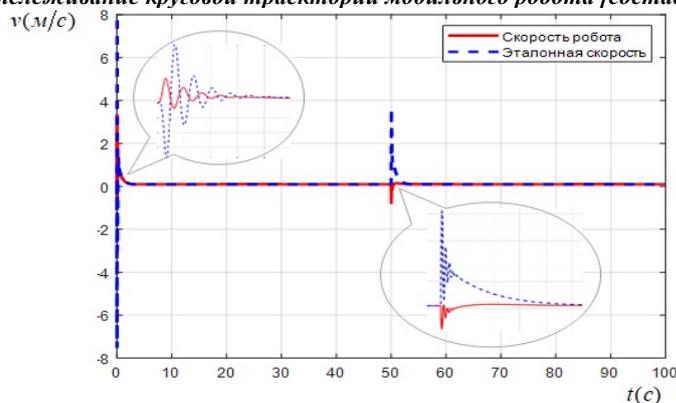


Рис. 7. Реакция линейной скорости мобильного робота [составлено авторами]

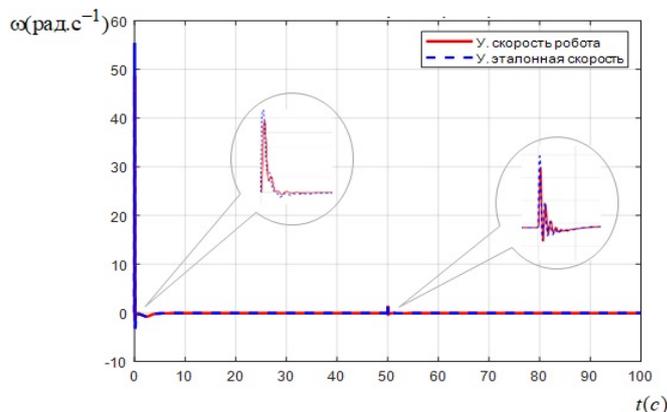


Рис. 8. Реакция угловой скорости мобильного робота [составлено авторами]

Случай 2: Отслеживание прямоугольной траектории. В этом разделе демонстрируются возможности управления мобильным роботом на квадратной траектории с длиной стороны 1 М.

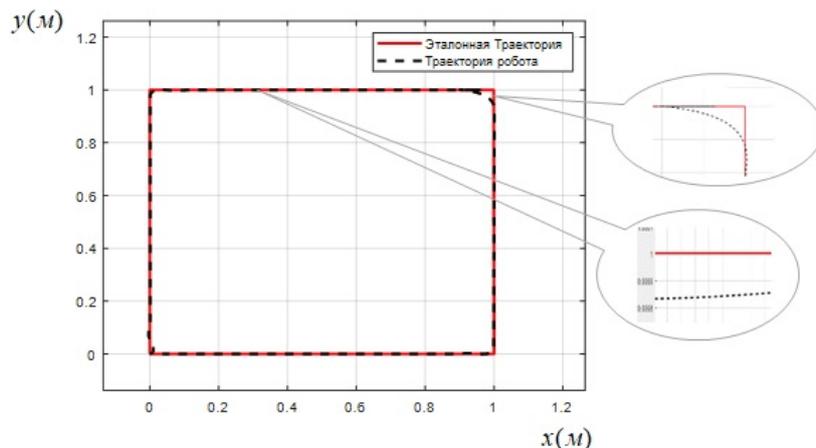


Рис. 9. Отслеживание квадратной траектории мобильного робота [составлено авторами]

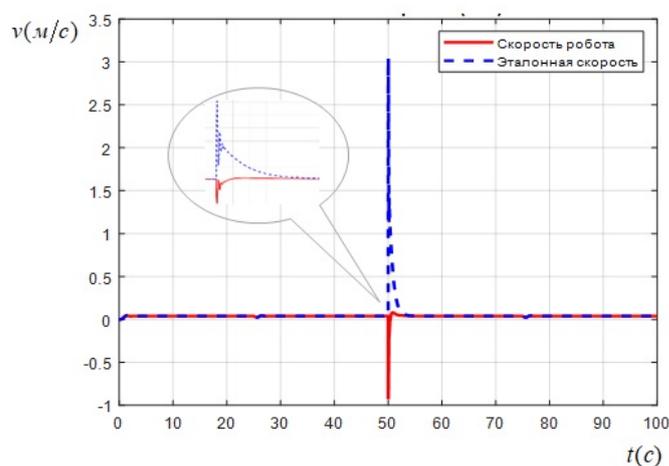


Рис. 10. Реакция линейной скорости мобильного робота [составлено авторами]

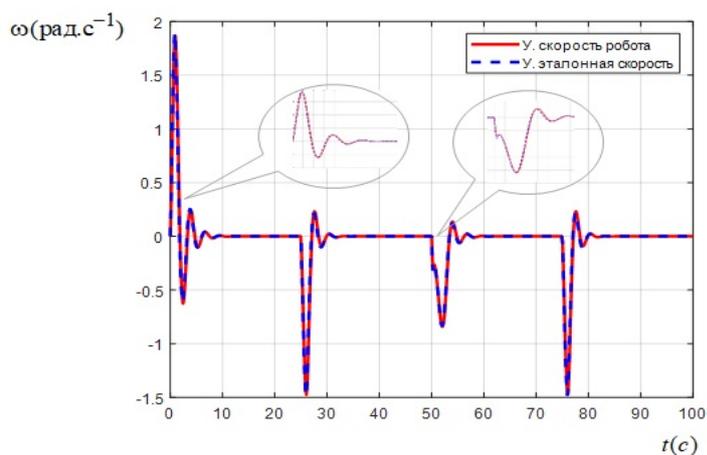


Рис. 11. Реакция угловой скорости мобильного робота [составлено авторами]

Как видно из рис. 6. и 9., динамические характеристики системы для правого и левого колес приемлемы, и они сходятся к желаемому заданному значению без превышения. можно видеть, что робот следует по исходной траектории с небольшой погрешностью. Скорости робота V и Ω показаны на рис. 7., 8., 10., 11., и асимптотически отслеживают их желаемую исходную траекторию.

Заключение. В этой работе был дан обзор кинематики и динамики мобильного робота с почтительным приводом на колесах. Закон управления был создан путем придания роботу линейных и угловых опорных скоростей. Был предложен контроллер отслеживания траектории, основанный на надежном ПИД-алгоритме. Основное пре-

имущество настоящей методологии заключается в том, что в ней используется очень простая модель мобильного робота, которая позволяет настраивать простой ПИД-регулятор.

Таблица 1

Условные обозначения

Параметр	Описание
$2L$	Расстояние между двумя колесами (м)
C	Центр масс
A	Средняя точка между двумя задними колесами
d	Расстояние между A и C (м)
r	Радиус колеса (м)
ω_R, ω_L	Угловая скорость колес (рад.с ⁻¹)
v	Линейная скорость МРДП (м.с ⁻¹)
ω	Угловая скорость МРДП (рад.с ⁻¹)
N	Передаточное число
K	Постоянная обратной ЭДС К (В.с.рад ⁻¹)
M	Масса робота (кг)
J	Момент инерции робота (кг.м ²)
F_{uR}, F_{uL}	Касательные силы, действующие на МРДП колесами
$F_{\omega R}, F_{\omega L}$	Радиальные силы, действующие на МРДП колесами
U_L	Входное напряжение левого двигателя
U_R	Входное напряжение правого двигателя

Анализ устойчивости, основанный на ПИД-регуляторе, показывает эффективность закона управления, который заключается в отслеживании траектории и поддержании стабильности замкнутой динамики мобильного робота. Анализ результатов показывает хорошую производительность предлагаемого контроллера для отслеживания траектории с точки зрения точности, стабильности и сходимости, и было показано, что динамический отклик исполнительных механизмов (двигателей) является приемлемым и устойчивым к системной неопределенности. В будущем будут изучены более надежные алгоритмы управления.

Список литературы

- Potekhin V.V. Alekseev A.P., Kuklin E.V., Yury N. Kozhubaev. Cloud distributed control system based on open process automation platform / Computing, Telecommunications and Control, Т. 1. №2, 2023. С.17-28. DOI: 10.18721/JCSTCS.16202.
- Кожубаев Ю.Н., Беляев В.В., Саббаган А. Управление энергией, черная металлургия, солнечная энергия, солнечное излучение, электронное управление / Наукосфера. №9 (2), 2023 С. 117-125.
- Xin, L., Wang, Q., She, J. and Li, Y. Robust adaptive tracking control of wheeled mobile robot // Robot. Autonomous Syst. 2016. 78. С. 36-48.
- Kozhubaev Yu.N., Kazanin D.S. Optimization and control system of power consumption based on virtual power plant technology // Computing, Telecommunications and Control. 2023. Т. 16, № 4. С. 37-48. DOI: 10.18721/JCSTCS.16404.
- Elena N. Ovchinnikova, Maria A. Gorelik, Y. Yao, Yury N. Kozhubaev. Design and control of a fast charging module based on the USB-PD protocol / Computing, Telecommunications and Control, № 3, Т 16, 2023. pp. 64 - 73. DOI: 10.18721/JCSTCS.16306.
- Korayem, M. H. and Shafei, A. M., "A new approach for dynamic modeling of n-viscoelastic-link robotic manipulators mounted on a mobile base," Nonlinear Dyn. 79 2767-2786 (2015).
- Кожубаев Ю. Н., Ильин А.Е., Горелик М.А. Оценка качества технических документов с помощью машинного зрения / Наукосфера. №8 (2), 2023 С. 59-63.
- Dalia Kass Hanna, Abdulkader Joukhadar, Mechatronics Department University of Aleppo Aleppo-Syria" A Novel Control-Navigation System-Based Adaptive Optimal Controller & EKF Localization of DDMR", (IJARAI) International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence, Vol. 4, No.5, pp. 20-29, (2015).
- Sultanbekov R. R., Beloglazov I. I. , Islamov S. R., Ong M. C. Exploring of the Incompatibility of Marine Residual Fuel: A Case Study Using Machine Learning Methods / Energies, № 8422, V 14, 2021. С 1 - 16 .
- Brilliant, L. S., Zavalov, A. S., Danko, M. U., Andronov, K. A., Shpurov, I. V., Bratkova, V. G., & Davydov, A. V. (2022). Integration of machine learning methods and geological and hydrodynamic modeling in field development design. Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry, 2022(3), 48-53.
- Кожубаев Ю. Н., Имин Я. Методы позиционирования пешеходов, основанные на коррекции пикового шаблона bluetooth / Научное обозрение. технические науки.2023. №4. С.22-26.
- 12 R. Dhaouadi and A. Abu Hatab "Dynamic Modelling of Differential-Drive Mobile Robots using Lgrange and Newton-Euler Methodologies: AUnified Framework," Advance in Robotics & Automation, vol. 2, (Autom 2013).

13. Filippov E. V., Zakharov, L. A., Martyshev, D. A., & Ponomareva, I. N. (2022). Reproduction of reservoir pressure by machine learning methods and study of its influence on the cracks formation process in hydraulic fracturing. *Journal of Mining Institute*, 258, 924-932. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.103>.
14. Shamil I. R., Grigoriev A., Beloglazov I. I., Savchenkov S. A., Gudmestad O. T. Research risk factors in monitoring well drilling — A case study using machine learning methods / *Symmerty*, № 7, V 13, 2021. pp. 1 – 19. <https://www.mdpi.com/2073-8994/13/7/1293>
15. Кожубаев Ю. Н., Ильин А.Е., Горелик М.А. Применение технологий нечеткой логики для управления режимом напряжения трансформатора / *Наукосфера*. №9 (1), 2023, С. 190-193.
16. Huang, J., Wen, C., Wang, W. and Jiang, Z. P., “Adaptive output feedback tracking control of a nonholonomic mobile robot,” *Automatica* 50, 821–831 (2014).
17. Shojaei, Kh., “Neural adaptive output feedback formation control of type (m, s) wheeled mobile robots,” *IET Control Theory Appl.* 21, 504–515 (2016). DOI: 10.1049/iet-cta.2016.0952.
18. Кожубаев Ю. Н., Овчинникова Е. Н., Беляев В.В., Шехзад У. Моделирование и управление исполнительными элементами робота-манипулятора с пневмоприводом / *Известия тульского государственного университета*. 2023. №8. С.617-626. ISSN 2071-6168. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-8-617-618.
19. Кожубаев Ю. Н., Ильин А.Е., Горелик М. А. Управление и автоматизация систем освещения как одна из важных частей «умного города» / *Наукосфера*, №8 (2), 2023, С. 64-68.
20. Korayem, M. H. and Shafei, A. M., “Motion equation of nonholonomic wheeled mobile robotic manipulator with revolute-prismatic joints using recursive Gibbs–Appell formulation,” *Appl. Math. Modeling* 39, 1701–1716 (2015).
21. Кожубаев Ю. Н., Прокофьев В.А. Моделирование и управление двунаправленной соревновательной нейросетью и соревновательной нейросетью с вспомогательным классификатором в задаче увеличения разрешения и обработки информации / *Известия тульского государственного университета*, №8, 2023. С.88-101. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-8-88-89.
22. Y. Liu, *Navigation and Control of Mobile Robot Using Sensor Fusion*, Robot Vision, Ales Ude (Ed.), InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/robot-vision/navigationand-controlof-mobile-robot-using-sensor-fusion>. (2010).
23. Potekhin V.V. Alekseev A.P., Kuklin E.V., Khitrova Ya.D. Cloud distributed control system based on open process automation platform / *Информатика, телекоммуникации и управление*. 2023. Т. 1. №2. С.17-28. ISSN 2687-0517. DOI: 10.18721/JCSTCS.16202.
24. Keymasi Khalaji, A., Ali, S. and Moosavian, A., “Adaptive sliding mode control of a wheeled mobile robot towing a trailer,” *Proc. Institut. Mech. Eng., I: J. Syst. Control Eng.* 229, 169–183 (2015).
25. Benaoumeur Ibari, Laredj Benchikh, Amar Reda Hanifi Elhachimi, Zoubir Ahmed-Foitih. Backstepping Approach for Autonomous Mobile Robot Trajectory Tracking. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, IAES, 2016, 2 (3), pp.478–485.

Фролов Владимир Яковлевич, д-р техн. наук, профессор, frolov_vya@spbstu.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет,

Юсеф Бенслиман, аспирант, benslimaneyoucef54@gmail.com, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

MODELING AND NONLINEAR CONTROL OF NONHOLONOMIC CAR-LIKE MOBILE ROBOT TRACKING TRAJECTORY

V.Y. Frolov, Y. Benslimane

The subject of this article is the problem of controlling a mobile robot moving along a plane without obstacles, and, in particular, the use of feedback methods to achieve a given motion task. This article presents a simple and effective solution to the problem of tracking the trajectory of a mobile robot using a PID controller. The proposed method uses a linearized model of a mobile robot. The synthesis procedure allows the PID controller to be tuned using rated performance and reliability as control characteristics. Autonomous mobile robots are widely used in many areas, such as mining, space exploration, and in the service sector and industry. The mobile differential drive robot (MDRM) is one such robot that has gained widespread popularity due to its simplicity and ease of control. Control methods used in mobile robots generally remain complex and require a high level of theoretical and applied aspects. The control method used in our case is nonlinear control based on PID controller. The uncertainty of the mobile robot due to the inaccuracy in the design of the mechanical robot and the inaccuracy in the connection space exhibited by the actuators of the mobile robot leads to accumulated drift and deviation from the desired posture of the robot. It is also assumed that the mobile robot operates due to some random disturbance represented by the load, which is very common in the control areas of the system.

Key words: PID controller, linearized model, Mobile robots, Trajectory tracking, Performance.

Frolov Vladimir Yakovlevich, doctor of technical sciences, professor, frolov_vya@spbstu.ru, Russia, Saint Petersburg, St. Petersburg Polytechnic University,

Youssef Benslimane, postgraduate, benslimaneyoucef54@gmail.com, Russia, Saint Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ю.Н. Кожубаев, Е.Н. Овчинникова, М.А. Горелик, Н.А. Нуштаев

Рассмотрена задача для создания автоматизированной системы дежурной части, в основу которой легли уже разработанные зарубежные аналоги. Проанализированы АСДЧ, которые уже эксплуатируются за рубежом. Разработана система по сбору данных, с её внешним видом, на котором подтверждается чрезвычайное происшествие. Выведена формула для расчета криминогенности определенных районов. Выведена блок-схема обработки поступающих сообщений, для их дальнейшей обработки системой, программа которой основывается на анализе сообщения и выведения ключевых слов из сообщения. После чего описан и показан интерфейс программы и сервер, на котором будут храниться сообщения о чрезвычайных ситуациях. В настоящее время распространено использование «Автоматизированной системы дежурной части», которая способна сделать жизнь граждан более мирной, за счет того, что оповещения о происшествиях будут скапливаться в одну базу данных, где там же она и будет обрабатываться. Также благодаря АСДЧ могут быть отображены маршруты патрулей, который транслируются в реальном времени при правильной настройке. Но такое программное обеспечение не даёт возможности наблюдать ситуации, происходящие на местности в настоящий момент времени, а также строить маршруты для экипажей. Исходя из вышеперечисленного, создаётся необходимость в создании программного обеспечения, которое планирует необходимые маршруты для экипажей патрулей.

Ключевые слова: автоматизированная система, прогнозирование, криминогенность, сбор информации.

Command Central Predictive — это программное решение, разработанное Motorola Solutions, которое используется по модели SaaS. Оно позволяет получать информацию о истории правонарушений в выделенном районе, а также подсказывает тип и время совершения преступления в участке размером 150 на 150 метров. С помощью Google Street View можно просмотреть улицы в этом районе [1-3].

PredPol — это также программный инструмент, работающий по модели SaaS, который позволяет с некоторой вероятностью предсказать место и время совершения преступления, таких как кражи, ограбления, наркопреступления и дорожно-транспортные происшествия. Он использует данные о преступлениях за десятилетия, чтобы определить районы, где вероятность правонарушений наибольшая. Эти районы обозначаются на карте города красными областями со стороны примерно в 500 футов [4-6].

Predictive Crime Analytics (PCA) производит выводы об настоящей обстановке в городе, при этом используя все источники, которые относятся к тому или иному району. Разработчики утверждают, что их система может определить опасность в том или ином городе, анализируя данные, такие как использование определенных выражений в сообщениях в социальных сетях. Результаты работы PCA отображаются на карте города цветными блоками, где более темный оттенок блока соответствует более высокому уровню опасности на шкале от 0 до 100. Размер блока минимальный — 650 на 650 футов.

В Германии работает система предсказания ограблений Prescobs, которая основывается на теории повторения или «заразности» преступлений. Система использует данные о криминальных происшествиях за последнее десятилетие, чтобы дать оценку возможным событиям для блоков со стороны 1500 футов. Система Prescobs использовалась в нескольких городах Швейцарии и Германии, где была зафиксирована точность предсказания в 85%. После внедрения Prescobs количество ограблений в этих регионах снизилось на треть [7-9].

2. Части разработки системы. Перед началом разработки системы необходимо определить ее компоненты, данные, которые будут использоваться, критерии ее работы и необходимые данные для функционирования. Основная цель системы - выдача коэффициента криминогенности для каждого района города Санкт-Петербурга на основе данных о происшествиях, поступающих в Автоматизированную систему дежурной части (АСДЧ). Один из ключевых показателей эффективности системы, может быть, процент предотвращенных угроз, однако для оценки этого параметра необходима долгосрочная перспектива использования системы [10-12].

2.1. Сбор данных для анализа. Система будет использовать данные, поступающие в формате, установленном в существующей автоматизированной системе диспетчерского контроля, с основным фокусом на поле "Вид" в блоке учета происшествия, которое представляет собой формализованный список и определяет вид происшествия и его криминогенность. Также важным является поле "Место происшествия", которое содержит адрес, по которому можно определить район, требующий вмешательства. В анализе данных также будет учитываться время происшествия, чтобы определить периоды, в которые необходимо усилить и повысить бдительность патрулирования.

Необходимо провести оценку рейтинга инцидентов с учетом их криминогенности и угрозы для общества. Например, инциденты, не являющиеся преднамеренными, такие как природные катастрофы, могут быть оценены с нулевым рейтингом, так как они представляют опасность для людей, но не связаны с злым умыслом. В то же время, инциденты, такие как террористические акты, характеризующиеся злым умыслом и угрозой, могут получить максимальный рейтинг 1.0. Также необходимо учитывать влияние инцидентов на физическое и психическое здоровье людей, умысел виновных лиц и основные факторы, приведшие к возникновению инцидента, при определении их рейтинга [13-15].

2.2. Математические вычисления. Для оценки уровня преступности в районе используется математическая формула, которая основывается на классификации каждого происшествия и назначении соответствующего весового коэффициента [16-18]. Данный коэффициент затем умножается на процентное соотношение данного происшествия к общему числу происшествий в районе. Такой подход позволяет анализировать статистические данные и применять криминологические методы для оценки уровня криминогенности района в целом. В результате можно получить достоверную информацию о состоянии безопасности и разработать соответствующие меры по ее улучшению [19-21].

Таким образом, использование ограничения глубины изучения данных по временной шкале и учет зон влияния полицейских участков в расчете коэффициента криминогенности позволяет достичь масштабируемости

вычислений и более точно оценить уровень преступности на разных территориальных уровнях, в соответствии с научными принципами и методами анализа данных [22-24].

Рис. 1. Формат для утверждения происшествия

Для более точного расчета текущего уровня криминогенности можно учесть предыдущее вычисленное значение, сделав поправку на среднее между текущим вычисленным значением и последним рассчитанным значением. Это позволит получить более точную оценку состояния района.

$$\alpha_{t_s} = \frac{(\alpha_t + \alpha_{t_{s-1}})}{2} \quad (1)$$

где α_{t_s} – среднее значение криминального состояния района; α_t – уровень преступности в районе; $\alpha_{t_{s-1}}$ – среднее значение криминального состояния района, в период перед настоящим.

Для сохранения данных и оценки эффективности системы необходимо организовать хранение вычисленных коэффициентов. Расчет коэффициентов можно производить ежемесячно, учитывая значения за предыдущие месяцы и сохраняя два последних рассчитанных значения. Это позволит проводить анализ и делать выводы о эффективности системы в процессе ее эксплуатации [25-27].

Конечная система будет иметь следующий алгоритм, представленный в виде блок-схемы:

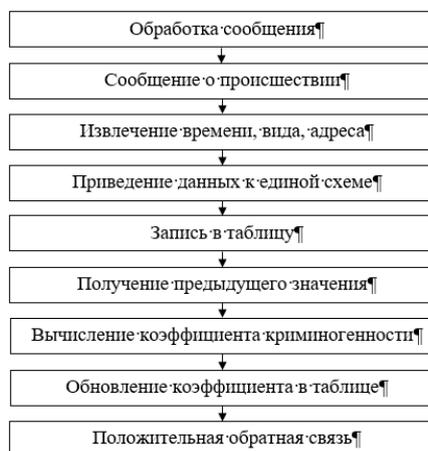


Рис. 2. Блок-схема обработки сообщений системы

Входные данные, представленные в виде сообщений о происшествиях, обрабатываются, и из них извлекаются время, вид происшествия и адрес. Затем данные приводятся к единой схеме, например, записываются в таблицу с указанными столбцами: время сообщения, вид сообщения, коэффициент криминогенности и адрес происшествия. Далее система извлекает предыдущее значение коэффициента криминогенности из таблицы для вычисления нового значения на основе положительной обратной связи. [28-30]. Полученное значение обновляется в таблице, и цикл повторяется при поступлении новых сообщений о происшествиях [31-33].

Программа начинает с загрузки сообщений о происшествиях и типов сообщений, затем на основе этих данных выполняется подсчет криминогенности районов. Результаты подсчета выводятся на графический интерфейс, где пользователь может видеть данные о криминогенности районов. Программа ожидает ввода нового сообщения от пользователя, и при его поступлении принимает его и пересчитывает коэффициенты криминогенности на основе положительной обратной связи. Введенные пользователем сообщения также сохраняются для последующего использования. Цикл работы программы повторяется при поступлении новых сообщений от пользователя.

Для анализа криминогенности района в рамках программы будет использована ранее полученная формула, основанная на данных из системы автоматизированной системы документооборота и контроля происшествий (АСДЧ). Процесс анализа начнется с подсчета количества сообщений каждого типа, основываясь на списке типов сообщений из АСДЧ. Для этого программа будет анализировать все сообщения, поступившие из определенного района города, и искать ключевые слова, связанные с определенным типом происшествий.

Для определения уровня криминогенности района необходимо подсчитать количество сообщений каждого типа, используя данные из АСДЧ. Далее, на основе ранее полученной формулы можно вычислить весовой коэффициент для каждого типа происшествия. Данный коэффициент умножается на процентное соотношение данного происшествия к общему числу сообщений в районе, что позволит получить показатель криминогенности для данного типа происшествия. Далее, путем суммирования всех таких показателей по всем типам происшествий можно получить коэффициент криминогенности для района.

Для определения общего количества сообщений в районе можно просто подсчитать размер списка сообщений, полученных из АСДЧ. Этот процесс обеспечивает объективные данные для дальнейшего анализа и оценки уровня криминогенности района на основе научных методов и математических расчетов. Такой подход к оценке криминогенности позволяет учитывать различные типы происшествий и их весовые коэффициенты, что повышает точность оценки.

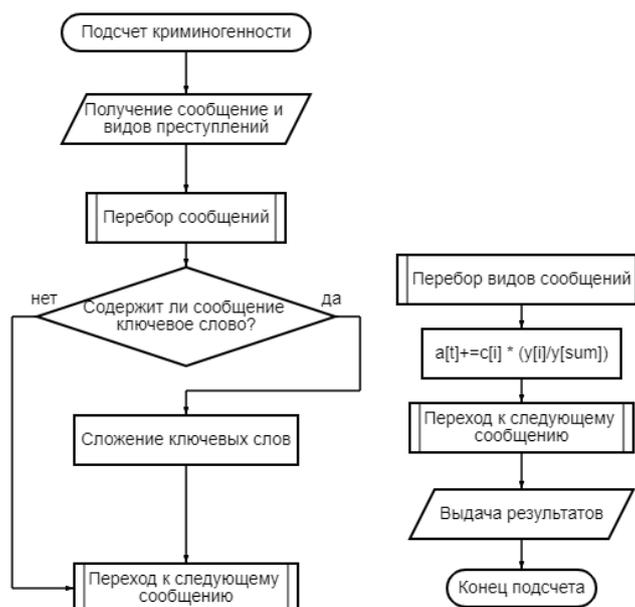


Рис. 3. Блок-схема алгоритма вычисления

Одним из возможных решений для реализации системы является выбор между клиентским приложением, выполняющимся на машине пользователя, или веб-приложением, доступным через браузер и работающим на сервере. Анализ показывает, что клиент-серверная архитектура веб-приложения является наиболее оптимальным вариантом.

Клиентское приложение, установленное на каждой рабочей машине, может быть проще в развертывании, однако это может вызвать проблемы, если требуется развернуть приложение на множестве рабочих мест. Кроме того, клиентское приложение может быть связано с конфигурацией машины пользователя, что может вызывать сложности в поддержке и обновлении системы [34-35].

Обоснование выбора клиент-серверной архитектуры веб-приложения основывается на принципах распределенных систем, архитектуре клиент-сервер, и принципах безопасности информационных систем. Клиент-серверная архитектура широко используется в современных информационных системах, так как позволяет эффективно организовать взаимодействие между клиентскими и серверными компонентами, обеспечивает масштабируемость и гибкость системы, и повышает безопасность данных и логики приложения.

Клиент-серверная архитектура веб-приложений обеспечивает ряд преимуществ перед клиентским приложением. Веб-приложение не требует установки на каждом рабочем месте, что упрощает его использование на различных устройствах и позволяет сократить затраты на обслуживание программного обеспечения. Веб-сервер обеспечивает формирование пользовательского интерфейса, обработку данных и взаимодействие с базой данных. На уровне представления, веб-сервер отображает карту Санкт-Петербурга, разделенную на районы, и предоставляет возможность просмотра статистики и коэффициента криминогенности выбранного района. На уровне обработки данных, веб-сервер производит расчеты, такие как расположение районов города, обработка сообщений о происшествиях и расчет координат отрисовки района. Взаимодействие с базой данных веб-сервер осуществляет извлечение сообщений из общей базы. При выборе архитектуры следует учитывать требования и контекст системы, а также аспекты безопасности и удобства использования.

3. Создание системы. Система будет содержать интерфейс пользователя, вычисление криминогенности района (основа программы), а также дополнительные функции.

3.1. Рассчет криминогенности. Метод Counting.java будет реализован согласно алгоритму, изображенному на рисунке 3. Данный метод принимает на вход массив сообщений и список видов происшествий с соответствующими коэффициентами криминогенности в качестве параметров.

В начале алгоритма производится перебор всех значений в массиве сообщений при помощи двух циклов `foreach`. Внутренний цикл прерывается после нахождения первого совпадения, и производится подсчет количества сообщений каждого вида.

Затем, после подсчета количества сообщений, алгоритм запускает второй цикл для перебора видов происшествий. Внутри этого цикла производится расчет процента криминогенности для района.

Таким образом, метод `Counting.java` реализует алгоритм подсчета количества и процента криминогенности для разных видов происшествий на основе массива сообщений и списка видов происшествий с их коэффициентами криминогенности.

3.2. Интерфейс программы. Анализируя требования к интерфейсу программы (см. рисунок 4), необходимо включить в него следующие компоненты: список районов с отображением рассчитанной криминогенности, окно для ввода сообщений, кнопку для обновления данных из файла и кнопку для принятия введенного сообщения.

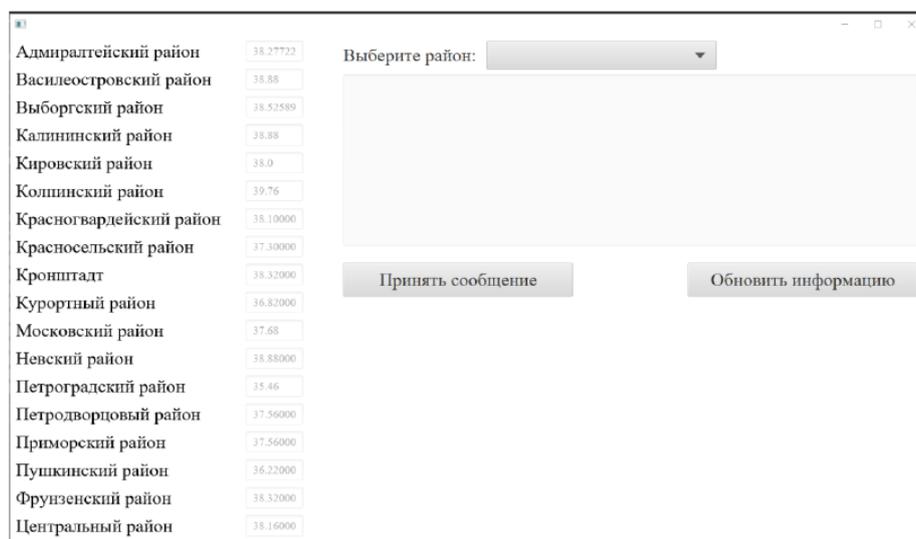


Рис. 4. Пользовательский интерфейс

Интерфейс программного продукта должен содержать несколько важных элементов (см. рисунок 4): список районов с указанием подсчитанной криминогенности, окно для ввода сообщений, кнопку для обновления информации из файла и кнопку для подтверждения введенного сообщения.

Для того, чтобы ввести сообщение, пользователю необходимо сначала выбрать район города. Если пользователь попытается нажать на кнопку подтверждения сообщения до выбора района, появится сообщение об ошибке "Источник ссылки не найден".

При нажатии на кнопку "Обновить информацию" программа будет считывать сообщения из файлов и пересчитывать коэффициенты криминогенности для всех районов. А если пользователь выбрал район и ввел сообщение, то при нажатии на кнопку "Подтвердить сообщение" оно будет записываться в файл соответствующего района, и программа пересчитает коэффициент криминогенности.

3.3. Дополнительные функции. В дополнение к функциональности данной системы, в нее могут быть добавлены методы чтения и записи в файл. Для удобства использования операции записи в файл, можно воспользоваться классом `BufferedWriter`, а для операции чтения - классом `BufferedReader`. Метод записи в файл будет осуществлять запись массива строк целиком. Размер массива не будет ограничен. Запись будет выполняться в файл, расположенный в директории, где находится программа. Данный метод может быть реализован в отдельном классе `Writer.java`.

Для осуществления главной функции веб-приложения - отправки запросов на сервер для получения данных, мы будем использовать встроенный класс `HttpClient` в `TypeScript`. Основным методом, который нам понадобится, является `get`, который принимает `URL`, по которому выполняется запрос, и возвращает `Observable`.

Для получения данных в компоненте контейнера для таблицы и карты, `MainFormComponent`, мы будем использовать следующий метод [пример]:

```
import { HttpClient } from '@angular/common/http';
constructor(private http: HttpClient) { }
getDataFromServer() {
  const url = 'http://example.com/data'; // здесь указываем URL сервера, откуда получаем данные
  return this.http.get(url); // отправляем GET-запрос и возвращаем Observable
}
```

Этот метод использует экземпляр `HttpClient`, который инжектируется в конструктор компонента. Мы передаем `URL` сервера, откуда хотим получить данные, в метод `getDataFromServer`, и он возвращает `this.http.get(url)`, который мы можем подписаться на получение данных из серверного ответа.

В компоненте `MainFormComponent` мы имеем метод `ngOnInit()`, который вызывается при каждой загрузке главной формы и позволяет получать актуальные данные. В этом методе мы проверяем параметры из строки запроса, используя класс `ActivatedRoute`, чтобы определить, нужно ли отобразить карту города.

Затем мы отправляем запрос на сервер, чтобы получить данные о коэффициентах криминогенности районов. Эти коэффициенты сохраняются в массиве и затем выводятся на экран пользователя в виде списка или таблицы.

Для того чтобы получить список сообщений, требуется отправить запрос на сервер. В данном случае, серверный сервлет ожидает URL-запрос, содержащий идентификатор района, и возвращает список сообщений, соответствующих этому району.

Поскольку на странице отображаются сообщения только для одного района, необходимо организовать запрос на сервер при изменении значения в селекторе на странице с сообщениями. Мы можем связать выполнение этого запроса с событием изменения значения в селекторе, чтобы автоматически обновлять список сообщений при выборе другого района.

Таким образом, при каждом изменении значения в селекторе, будет автоматически отправляться запрос на сервер для получения списка сообщений, соответствующих выбранному району. Это обеспечит актуальность данных на странице и позволит пользователям видеть только сообщения, относящиеся к выбранному району.

В конечном итоге будет выведено на экран сообщение с данными:

Главная Сообщения <input checked="" type="checkbox"/> Отобразить карту		
Василеостровский район ▾		
Сообщение	Время	Координаты
Ало, здравствуйте, тут брошенный транспорт, посмотрите, пожалуйста	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Здравствуйте, помогите пожалуйста тут грабят	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Я вижу несанкционированная торговлю приедте, пожалуйста	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Тут разбойное нападение срочно приезжайте	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Здравствуйте, тут брошенная машина, посмотрите, пожалуйста	02.02.1906, 00:00:00	26.106; 56.106
Здрвствуйте, я тут какую-то мину, кажется времён вов, нашел	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Я вижу подозрительную машину	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Здрвствуйте, у меня под окнами кого-то насилуют, похоже	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Ало, здравствуйте, тут это, труп во дворе	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Тут, наркоман какой-то шляется	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Здравствуйте, помогите пожалуйста тут грабёж диктую адрес	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Здравствуйте, помогите пожалуйста тут труп, похоже, суицид, приедте, пожалуйста	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Здрвствуйте, я слышал, как к соседям кто-то вломился, похоже грабёж, помогите	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106
Ало, здравствуйте, тут брошенный транспорт, посмотрите, пожалуйста	01.01.1970, 03:00:00	26.106; 56.106

Рис. 5. Общий вид полученных сообщений

4. Результаты исследования. С данной системой автоматизированной дежурной части можно судить о некоторых выводах, которые могут появиться при использовании такой системы.

Первым и главным фактором будет являться сокращение времени реакции, которое необходимо на обработку сообщения, ввиду автоматизированного расчета криминогенности ситуации. Общее число снижения времени реакции прогнозируется на 29%.

Второй фактор – точность и надёжность данных. Все сообщения будут классифицироваться в зависимости от места преступления и определяться в нужный район, что существенно ускорит обработку информации на 40%, ввиду автоматического поиска необходимого места и района.

Третий фактор – оптимизация ресурсов. На уже используемой системе было проанализировано, что распределение необходимых патрулей используется более рационально и затрагивает покрытие всей указанной территории, что снижает время передвижения патрулей до точки криминальной ситуации на 34%.

Четвертый фактор – снижение преступности. Так как все силы городской безопасности будут распределены во всех районах города в необходимом на то количестве. Криминальные ситуации будут происходить реже ввиду оперативного реагирования дежурной части и направления в них необходимых экипажей. При анализе уже используемой системы можно говорить о том, что снижение преступности было отмечено на границе 43%.

Закключение. Разработана система для автоматизированной обработки сообщений дежурной части, которая показывает криминогенность района. Главными частями может являться краткий вывод по криминогенности района, что обеспечит соответствующую наблюдаемость. В сообщениях, которые приходят возможна собственная корректировка в зависимости от рейтинга криминальной ситуации.

Удобным является общая картина, по которой можно судить, где находятся наиболее частые происшествия, так как перевычисление данных происходит автоматически и выводятся на интерфейс пользователя.

Внедрение автоматизированной системы ведёт за собой ряд преимуществ по сравнению с дежурной частью, где сообщения обрабатываются с данными, которые для начала человек должен отсортировать и направить сообщения в необходимые службы.

Список литературы

1. Saurabh Arora and Prashant Doshi. A survey of inverse reinforcement learning: Challenges, methods and progress. *Artificial Intelligence*, 297:103500, 2021.
2. Brigadnov, I.; Lutonin, A.; Bogdanova, K. Error State Extended Kalman Filter Localization for Underground Mining Environments. *Symmetry* 2023, 15. <https://doi.org/10.3390/sym15020344>.
3. Zakharov, L.A.; Martyushev, D.A.; Ponomareva, I.N. Predicting dynamic formation pressure using artificial intelligence methods. *Journal of Mining Institute* 2022, 253, 23–32. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.11>
4. Zhukovskiy, Y.L.; Kovalchuk, M.S.; Batueva, D.E.; Senchilo, N.D. Development of an Algorithm for Regulating the Load Schedule of Educational Institutions Based on the Forecast of Electric Consumption within the Framework of Application of the Demand Response. *Sustainability* 2021, 13. <https://doi.org/10.3390/su132413801>.
5. Sonia Baee, Erfan Pakdamanian, Inki Kim, Lu Feng, Vicente Ordonez, and Laura Barnes. Medirl: Predicting the visual attention of drivers via maximum entropy deep inverse reinforcement learning. In *Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision*, pages 13178–13188, 2021.

6. Romashev, A.; Iakovleva, T.; Mashevsky, G. Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal) 2022. 6, 175–188.
7. Zemenkova, M.Y.; Chizhevskaya, E.L.; Zemenkov, Y.D. Intelligent monitoring of the condition of hydrocarbon pipeline transport facilities using neural network technologies. *Journal of Mining Institute* 2022, 258, 933–944. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.105>.
8. Liang-Chieh Chen, Yukun Zhu, George Papandreou, Florian Schroff, and Hartwig Adam. Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*, pages 801–818, 2018.
9. Alanazi, A.K.; Alizadeh, S.M.; Nurgalieva, K.S.; Nestic, S.; Grimaldo Guerrero, J.W.; Abo-Dief, H.M.; Eftekhari-Zadeh, E.; Nazemi, E.; Narozhnyy, I.M. Application of Neural Network and Time-Domain Feature Extraction Techniques for Determining Volumetric Percentages and the Type of Two Phase Flow Regimes Independent of Scale Layer Thickness. *Applied Sciences* 2022, 12. <https://doi.org/10.3390/app12031336>.
10. Xiaocong Chen, Lina Yao, Xianzhi Wang, Aixin Sun, Wenjie Zhang, and Quan Z Sheng. Generative adversarial reward learning for generalized behavior tendency inference. *arXiv preprint arXiv:2105.00822*, 2021.
11. Ushakov, E.; Aleksandrova, T.; Romashev, A. Neural network modeling methods in the analysis of the processing plant's indicators. In *Proceedings of the International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019: Volume 2*. Springer, 2021, pp. 36–45.
12. Liang Cheng, Sensen Chu, Wenwen Zong, Shuyi Li, Jie Wu, and Manchun Li. Use of tencent street view imagery for visual perception of streets. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(9):265, 2017.
13. Filippov, E.V.; Zaharov, L.A.; Martyushev, D.A.; Ponomareva, I.N. Reproduction of reservoir pressure by machine learning methods and study of its influence on the cracks formation process in hydraulic fracturing. *Journal of Mining Institute* 2022, 258, 924–932. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.103>.
14. Islamov, S.; Grigoriev, A.; Beloglazov, I.; Savchenkov, S.; Gudmestad, O.T. Research Risk Factors in Monitoring Well Drilling—A. Case Study Using Machine Learning Methods. *Symmetry* 2021, 13. <https://doi.org/10.3390/sym13071293>.
15. Alexey Dosovitskiy, Lucas Beyer, Alexander Kolesnikov, Dirk Weissenborn, Xiaohua Zhai, Thomas Unterthiner, Mostafa Dehghani, Matthias Minderer, Georg Heigold, Sylvain Gelly, et al. An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. *arXiv preprint arXiv:2010.11929*, 2020.
16. Sultanbekov, R.; Beloglazov, I.; Islamov, S.; Ong, M.C. Exploring of the Incompatibility of Marine Residual Fuel: A Case Study Using Machine Learning Methods. *Energies* 2021, 14. <https://doi.org/10.3390/en14248422>.
17. Abhimanyu Dubey, Nikhil Naik, Devi Parikh, Ramesh Raskar, and Cesar A Hidalgo. Deep learning the city: Quantifying urban perception at a global scale. In *European conference on computer vision*, pages 196–212. Springer, 2016.
18. Brilliant, L.; Zavialov, A.; Danko, M.; Andronov, K.; Shpurov, I.; Bratkova, V.; Davydov, A. Integration of machine learning methods and geological and hydrodynamic modeling in field development design (Russian). *Oil Industry Journal* 2022, 2022, 48.
19. Tuomas Haarnoja, Aurick Zhou, Pieter Abbeel, and Sergey Levine. Soft actor-critic: Offpolicy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor. In *International conference on machine learning*, pages 1861–1870. PMLR, 2018.
20. Romashev, A.O.; Nikolaeva, N.V.; Gatiatullin, B.L. Adaptive approach formation using machine vision technology to determine the parameters of enrichment products deposition. *Journal of Mining Institute* 2022, 256, 677–685. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.77>.
21. Fengrui Jing, Lin Liu, Suhong Zhou, Jiangyu Song, Linsen Wang, Hanlin Zhou, Yiwen Wang, and Ruofei Ma. Assessing the impact of street-view greenery on fear of neighborhood crime in guangzhou, china. *International journal of environmental research and public health*, 18(1):311, 2021.
22. Andrej Karpathy and Li Fei-Fei. Deep visual-semantic alignments for generating image descriptions. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 3128–3137, 2015.
23. Xiaobai Liu, Qi Chen, Lei Zhu, Yuanlu Xu, and Liang Lin. Place-centric visual urban perception with deep multi-instance regression. In *Proceedings of the 25th ACM international conference on Multimedia*, pages 19–27, 2017.
24. John Schulman, Filip Wolski, Prafulla Dhariwal, Alec Radford, and Oleg Klimov. Proximal policy optimization algorithms. *arXiv preprint arXiv:1707.06347*, 2017.
25. Qiaomu Shen, Wei Zeng, Yu Ye, Stefan Müller Arisona, Simon Schubiger, Remo Burkhard, and Huamin Qu. Streetvizor: Visual exploration of human-scale urban forms based on street views. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(1):1004–1013, 2017.
26. Robin Strudel, Ricardo Garcia, Ivan Laptev, and Cordelia Schmid. Segmenter: Transformer for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, pages 7262–7272, 2021.
27. Ziyu Wang, Tom Schaul, Matteo Hessel, Hado Hasselt, Marc Lanctot, and Nando Freitas. Dueling network architectures for deep reinforcement learning. In *International conference on machine learning*, pages 1995–2003. PMLR, 2016.
28. Markus Wulfmeier, Peter Ondruska, and Ingmar Posner. Maximum entropy deep inverse reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1507.04888*, 2015.
29. Enze Xie, Wenhai Wang, Zhiding Yu, Anima Anandkumar, Jose M Alvarez, and Ping Luo. Segformer: Simple and efficient design for semantic segmentation with transformers. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 34:12077–12090, 2021.
30. Zhibo Yang, Lihan Huang, Yupei Chen, Zijun Wei, Seoyoung Ahn, Gregory Zelinsky, Dimitris Samaras, and Minh Hoai. Predicting goal-directed human attention using inverse reinforcement learning. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pages 193–202, 2020.
31. Changxi You, Jianbo Lu, Dimitar Filev, and Panagiotis Tsiotras. Advanced planning for autonomous vehicles using reinforcement learning and deep inverse reinforcement learning. *Robotics and Autonomous Systems*, 114:1–18, 2019.
32. Fan Zhang, Ding Zhang, Yu Liu, and Hui Lin. Representing place locales using scene elements. *Computers, Environment and Urban Systems*, 71:153–164, 2018.

33. Hengshuang Zhao, Jianping Shi, Xiaojuan Qi, Xiaogang Wang, and Jiaya Jia. Pyramid scene parsing network. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pages 2881–2890, 2017.

34. Zeyu Zheng, Junhyuk Oh, and Satinder Singh. On learning intrinsic rewards for policy gradient methods. Advances in Neural Information Processing Systems, 31, 2018.

35. Hanlin Zhou, Lin Liu, Minxuan Lan, Weili Zhu, Guangwen Song, Fengrui Jing, Yanran Zhong, Zihan Su, and Xin Gu. Using google street view imagery to capture micro built environment characteristics in drug places, compared with street robbery. Computers, Environment and Urban Systems, 88:101631, 2021.

Кожубаев Юрий Нургалиевич, канд. техн. наук, доцент, y.n.kozhubaev@gmail.com, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет,

Овчинникова Елена Николаевна, канд. пед. наук, доцент, ovchinnikova_EN@pers.spmi.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет,

Горелик Мария Александровна, канд. техн. наук, доцент, korobitsyna_ma@pers.spmi.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет,

Нуштаев Никита Андреевич, преподаватель, um-urii@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

URBAN SAFETY PREDICTION AND CONTROL MODEL

Yu.N.Kozhubaev, E.N.Ovchinnikova, M.A.Gorelik, N.A.Nushtaev

The task of creating an automated control room system, based on already developed foreign analogues, is considered. ASFCs that are already in operation abroad are analyzed. A data collection system has been developed, with its appearance confirming an emergency incident. A formula has been derived for calculating the crime rate of certain areas. A block diagram of processing incoming messages is provided for their further processing by the system, the program of which is based on the analysis of the message and the derivation of keywords from the message. After which the program interface and the server on which emergency messages will be stored are described and shown. Currently, the use of the “Automated Control Room System” is widespread, which can make the lives of citizens more peaceful, due to the fact that notifications about incidents will be accumulated in one database, where it will be processed there. Also, thanks to ASDC, patrol routes can be displayed, which are broadcast in real time if configured correctly. But such software does not make it possible to observe situations occurring on the ground at a given moment in time, or to build routes for crews. Based on the above, there is a need to create software that plans the necessary routes for patrol crews.

Key words: automated system, forecasting, crime rate, information collection.

Kozhubaev Yury Nurgalievich, candidate of technical sciences, docent, y.n.kozhubaev@gmail.com, Russia, St. Petersburg, St. Petersburg Mining University,

Ovchinnikova Elena Nikolaevna, candidate of pedagogical sciences, docent, ovchinnikova_EN@pers.spmi.ru, Russia, St. Petersburg, St. Petersburg Mining University,

Gorelik Maria Alexandrovna, candidate of technical sciences, docent, korobitsyna_ma@pers.spmi.ru, Russia, St. Petersburg, St. Petersburg Mining University,

Nushtaev Nikita Andreevich, lecturer, um-urii@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОСТАВКАМИ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Е.А. Пелих

Рассмотрены основные типы сценариев взаимодействия инженерно-технического состава с авиационной техникой на этапе эксплуатации. Описана модель послепродажного обслуживания авиационной техники, основанная на показателях надежности. Представлено базовое описание алгоритма работы автоматизированной системы управления обработкой заявок эксплуатантов и доставки комплектующих для авиационной техники. Разработан механизм оценки эффективности внедрения автоматизированной системы управления.

Ключевые слова: авиационная техника, эксплуатация, послепродажное обслуживание, логистика, автоматизация.

Повышение уровня технологической сложности авиационной техники оказывает влияние на объём работ, выполняемых на этапе эксплуатации АТ. Регулярное обновление парка воздушных судов авиакомпаний, военно-воздушных сил разных государств задаёт требования к регулярному переобучению инженерно-технического состава, обновлению, при необходимости, номенклатуры средств наземного обслуживания, контрольно-измерительной аппаратуры, комплектующих и инструментов.

Издержки заказчика авиационной техники также повышаются, что приводит к общему суммарному росту затрат на каждую конкретную единицу парка воздушных судов заказчика.

Существующая модель эксплуатации воздушных судов предполагает выполнение работ по регулярному техническому обслуживанию силами разработчика в пределах срока гарантийного обслуживания и самостоятельное обслуживание воздушного судна силами эксплуатанта по его окончанию.

В случае с авиационной техникой, эксплуатантом которой является коммерческая организация, расширение номенклатуры работ по техническому обслуживанию, являющееся следствием роста технологичности авиационной техники, ведёт к увеличению продолжительности выполнения работ по регулярному техническому обслуживанию воздушного судна, что в свою очередь приводит к снижению экономической эффективности воздушного судна в целом. В случае с авиационной техникой, эксплуатантом которой являются военно-воздушные силы государства, увеличение продолжительности выполнения работ по техническому обслуживанию ведёт к снижению боеспособности и обороноспособности подразделения.

Помимо работ по регулярному техническому обслуживанию и работ по поддержанию исправности воздушного судна в течение этапа эксплуатации (предполетная подготовка, подготовка к повторному вылету, послеполетная подготовка), необходимо выполнять работы по обнаружению и устранению неисправностей, а также выполнять замену отказавших или пришедших в неисправное состояние комплектующих и запасных частей воздушного судна.

Вся описанная номенклатура работ представляет из себя спектр работ по техническому обслуживанию, выполняемый инженерно-техническим составом очередного, либо постоянного пункта назначения воздушного судна. В случае с особо ответственными работами, включающими расстыковку и сборку элементов системы управления воздушного судна, его гидросистемы, топливной системы, пневмосистемы и прочих особо ответственных систем самолета, возможные отклонения от регламента технического обслуживания при выполнении работ могут приводить к существенному росту вероятности возникновения неисправности в полете, и, как следствие, авиационному происшествию или авиационному инциденту [1].

Модернизация процесса технического обслуживания авиационной техники на этапе эксплуатации призвана решить следующие проблемы:

1. улучшить качество выполнения работ по техническому обслуживанию;
2. сократить сроки выполнения работ по техническому обслуживанию;
3. увеличить экономическую эффективность воздушного судна.

Одним из способов модернизации может стать переход на систему послепродажного обслуживания, основанного на показателях надежности, т.н. Performance-Based Logistics (PBL) [2]. Отличительной особенностью PBL является интеграция в систему взаимодействия разработчик-поставщик-заказчик-эксплуатант компании-посредника, осуществляющей техническое обслуживание воздушных судов, их текущий и регулярный ремонт.

В традиционной модели обеспечения эксплуатации воздушного судна, в случае с гражданской авиацией, регулярное техническое обслуживание воздушных судов осуществляется сотрудниками авиакомпаний, либо сотрудниками аэропортов по договору с аэропортом на оказание такого рода услуг. В случае с работами по регулярному техническому обслуживанию, от A-check до D-check, работы, входящие в перечень обязательных к выполнению в рамках каждой из проверок, могут выполняться сотрудниками авиакомпаний, сотрудниками аэропортов (реже), либо сотрудниками специализированных организаций, допущенных к выполнению подобного рода работ.

В случае с PBL, ответственность за выполнение A-, B-, C- и D-check лежит на компании-посреднике и является частью контракта между эксплуатантом воздушного судна и компанией-посредником. Помимо этого, работы по оперативному обнаружению и устранению неисправностей воздушного судна также лежат на компании-посреднике (рисунк).

В данном случае основное отличие воздушных судов, выполняющих коммерческие рейсы и эксплуатируемых военно-воздушными силами заключается в характере базирования воздушного судна.

В первом случае, так как владельцем воздушного судна является авиакомпания, она имеет один или несколько так называемых «хабов» или центров технического обслуживания. Наиболее частая практика использования «хабов» предполагает его наличие на территории аэропорта, так как является наиболее удобной и дешёвой практикой использования их как места проведения технических работ, в силу экономии издержек на перебазирование воздушного судна на специальную станцию технического обслуживания, поскольку не требует поддержание эксплуатации зданий и помещений, инфраструктуры и взлётно-посадочной полосы [3].



Основные различия традиционной концепции и PBL

В случае, если существенный дефект, препятствующий выполнению очередного полета, выявляется на территории «хаба» авиакомпании, работы по восстановлению исправности ВС и замене отказавших комплектующих проводятся на территории «хаба». Если такая неисправность обнаруживается на территории другого аэропорта, авиакомпания оценивает целесообразность перебазирования воздушного судна, либо доставку к нему комплектующих и инженерно-технического состава авиакомпании.

Деятельность по устранению неисправностей для авиакомпании, эксплуатирующей воздушное судно, вынуждает её иметь в своей структуре службы технического обслуживания, что увеличивает штат авиакомпании за счет инженерно-технического состава. Помимо этого, авиакомпания должна иметь в своем распоряжении службы материально-технического обеспечения, выполняющие заказ и транспортировку комплектующих и запасных частей для потенциальной замены [4].

Сотрудники авиакомпании являются авиационным персоналом, допускаемым к работе с авиационной техникой только после получения соответствующего специфике отрасли образования, прохождения обучения эксплуатации воздушных судов определенного типа и получивших удостоверение, выдаваемое государственными органами. Одной из существенных причин, приводивших к авиационным происшествиям или авиационным инцидентам, является, в том числе, недобросовестное выполнение инженерно-техническим составом работ по техническому обслуживанию воздушных судов. Регулярно вводимые меры по повышению контроля за выполнением таких работ сокращают такие риски, однако сопутствующее увеличение технологической сложности авиационной техники может привести, вероятно, к увеличению ошибок со стороны ИТС.

Вопрос контроля за выполнением работ авиационным персоналом является существенным при учёте опыта эксплуатации авиационной техники и возникновения авиационных инцидентов. Переход зоны ответственности обслуживания воздушных судов с сотрудников аэропортов и авиакомпаний к специализированным компаниям-контрагентам может существенно повысить качество выполнения таких работ, в силу сужения зоны ответственности ИТС. Компания-контрагент может взять на себя работы в рамках А-, В-, С- и D-check, а также устранению неисправностей и доставке комплектующих. При этом Daily Check, Weekly Check и другие регулярные работы могут выполняться авиационным персоналом аэропортов [5].

Во втором случае, при эксплуатации воздушного судна в рамках военно-воздушных сил, смена базирования воздушного судна происходит крайне редко и сопряжена, зачастую, с существенным изменением военной обстановки в округах. Работы по техническому обслуживанию таких воздушных судов выполняются авиационным персоналом военной части, проходящим соответствующую переподготовку при поступлении в часть нового воздушного судна. Регламент по техническому обслуживанию военной авиации является сопоставимым и включает в себя, аналогично гражданским воздушным судам, работы по подготовке воздушного судна к полету, подготовке к повторному полету и послеполетной подготовке. Помимо этого, выполняются работы по регулярному техническому обслуживанию по достижении часов налета, календарного срока службы, либо числа циклов взлёт-посадка. Увеличение срока эксплуатации воздушного судна приводит к росту номенклатуры выполняемых работ, в силу специфики работы некоторых технических систем, а также возникновению усталостных разрушений конструкции планера воздушного судна [6].

Авиационная техника военного назначения сталкивается с большим числом отказов и неисправностей, чем гражданское, поскольку является технологически намного более сложной, а также имеет ряд дополнительных систем, таких как система управления вооружением. Рост числа отказов приводит к потребности в более частых заменах комплектующих воздушного судна, что приостанавливает его эксплуатацию до устранения неисправности.

Аналогично коммерческой авиации, внедрение компании-посредника в цепочку взаимодействия может помочь оптимизировать процесс эксплуатации воздушных судов. Инженерно-технический состав компании-посредника может выполнять работы по техническому обслуживанию воздушных судов непосредственно на территории эксплуатанта. Оперативная транспортировка комплектующих и инженерно-технического состава к месту базирования требует наличие собственного парка воздушных судов у компании-посредника, а также собственных складских мощностей, позволяющих хранить запасные части для дальнейшей их установки на воздушное судно [7].

Потребность в складских мощностях, совместно с парком воздушных судов, ставит вопрос о создании логистических центров, которые могут объединять функции хранения комплектующих и запасных частей и базирования парка воздушных судов компании-контрагента.

Таким образом, задачи компании-посредника сводятся к двум основным категориям:

1. выполнение регулярного технического обслуживания и ремонта;
2. выполнение оперативного устранения неисправностей и замены отказавших комплектующих.

Планирование выполнения работ по регулярному техническому обслуживанию и ремонту должно выполняться совместно с эксплуатантом воздушного судна. Это позволит компании-посреднику выстроить логистические цепочки таким образом, чтобы производить планирование собственных закупок и выделение собственных мощностей наиболее оптимальным образом. В свою очередь, оперативное устранение неисправностей и замена отказавших комплектующих требует консолидации ресурсов компании-посредника, что в современных условиях не представляется возможным без наличия у компании-посредника единой информационной платформы, отслеживающей текущее состояние системы и передающей информацию по запросу. Поскольку устранение неисправности и замена комплектующих является задачей, требующей задействования большого числа структурных единиц информационной системы, вопросу описания её работы необходимо уделить особое внимание.

Передаче указаний логистическим мощностям компании-посредника предшествует поступление запроса от эксплуатанта авиационной техники. После поступления запроса он обрабатывается информационной системой компании-посредника, анализируются пути удовлетворения запроса, после чего принимается решение и передаются соответствующие указания. Процесс обработки запроса при наличии заведомо известных алгоритмов и логики обработки запроса может быть автоматизирован [8]. Применение автоматизированной системы управления (АСУ) позволит компании-посреднику сократить время обработки запроса и принятия решения, поскольку АСУ позволяет делать это намного более оперативно и наиболее рационально. Применение искусственного интеллекта, обучаемого по алгоритму работы АСУ может помочь повысить эффективность работы АСУ [9], однако в силу сложности поставленной задачи, в данной работе будет описан только алгоритм работы АСУ без использования искусственного интеллекта.

Базовый алгоритм работы АСУ предполагает следующую последовательность действий:

1. оператор информационной системы создаёт запрос на устранение неисправности либо одной из систем воздушного судна, либо конкретного элемента конкретной системы. В запросе указывается индивидуальный идентификационный номер (ИИН) изделия, требующего замены, и класс срочности;

2. система получает запрос, в который входит ИИН изделия, класс срочности операции по восстановлению исправности и местоположение запроса, формируемое автоматически, поскольку каждая зарегистрированная копия программы для отправки запросов в систему должна иметь данные о местоположении;

3. после получения запроса система сопоставляет ИИН изделия с находящимися на складах и, при наличии изделия на складе, включает его в перечень для дальнейшей обработки;

4. далее система анализирует загруженность транспортных мощностей тех складов, на которых была обнаружена необходимая запасная часть и определяет в какие сроки возможно выполнить доставку комплектующих заказчику;

5. после обработки полученной информации система передаёт указания персоналу логистического центра на погрузку комплектующих для дальнейшей передачи по цепочке. Детали присваивается индивидуальная маршрутная карта (ИМК), в соответствии с которой необходимо выполнить передачу заказчику.

Описанный алгоритм позволяет существенно сократить время принятия решений, что оказывает существенное влияние на возможность выполнения контрактных обязательств со стороны компании-посредника [10, 11].

Для проверки данной гипотезы были построены модели работы системы с применением автоматизации и без применения автоматизации. Общий сравнительный анализ эффективности двух моделей представлен в таблице.

Расчет критериев оценки процессов принятия решений

Процесс	Обработка процессов вручную			Автоматизированная система управления		
	Времязатраты, мин.	Вероятность ошибки	Критерий оценки этапа	Времязатраты, мин.	Вероятность ошибки	Критерий оценки этапа
Анализ входящего запроса	2	10%	2,2	0	0%	0
Анализ номенклатуры комплектующих, находящихся на складах	5	20%	6	1	0%	1
Сопоставление номенклатуры комплектующих с запрошенными	2	5%	2,1	1	0%	1
Анализ загруженности транспортных мощностей	5	20%	6	1	0%	1
Анализ расписания рейсов	5	10%	5,5	1	0%	1
Анализ возможности доставки с учетом загрузки самолетов и весовых ограничений	10	20%	12	2	10%	2,2
Принятие решения о наиболее оптимальном пути доставки	2	40%	2,8	1	40%	1,4
Формирование индивидуальной маршрутной карты	2	5%	2,1	1	0%	1
Передача указаний персоналу выбранного логистического центра	2	5%	2,1	1	0%	1
Итого:	35	-	40,8	9	-	9,6

Критерием эффективности является время доставки комплектующих и выполнения работ по устранению неисправности. В целях упрощения оценки эффективности в работе модели было принято допущение о достаточности операторов обработки запросов с учетом обслуживаемых эксплуатантов авиационной техники. Это означает, что обработка каждого запроса начинается с момента его поступления оператору информационной системы.

Вероятность ошибки является функцией от человеческого фактора и объема обрабатываемой оператором информации. Критерий оценки этапа n (E_n) отражает совокупность факторов, оказывающих влияние на принятие оператором решения и выполнения действий в каждом из процессов, и вычисляется как:

$$E_n = t + t \times p = t \times (1 + p), \quad (1)$$

где t – времязатраты на процесс, мин.; p – вероятность ошибки, %.

Приведенный базовый анализ, рассчитанный с применением (1), отражает потенциал повышения эффективности работы компании-посредника посредством внедрения автоматизированной системы управления. Сравнение критериев эффективности показывает, что сокращение возможных издержек на этапе обработки запроса и принятия решения о пути поставки составляет более 75%. Такой показатель достигается сокращением вероятности ошибки в каждом из процессов (в силу автоматизации процессов за счет работы по заранее заданному алгоритму) и существенным сокращением времязатрат на каждый из процессов.

Выводы:

1. оценка эффективности внедрения автоматизированной системы обработки запросов на поставку и передачу указаний контрагентам показала существенное ускорение процесса принятия решений и сокращение возможных издержек из-за присутствия человеческого фактора;
2. описанный набор задач по обеспечению эксплуатации авиационной техники систематизирован регламентом технического обслуживания, что позволяет прогнозировать появление соответствующих запросов на выполнение работ и выработать наиболее оптимальную стратегию их удовлетворения.

Список литературы

1. Бутов Л.А., Волков М.А., Макаров В.П., Орлов А.И., Шаров В.Д. Автоматизированная система прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Выпуск № 42. Том 14, 2012.
2. US department of defense. PBL (Performance based logistic) / A guide to developing performance arrangement Guide Book. [Электронный ресурс] URL: <http://acqnotes.com/wp-content/uploads/2017/07/Performance-Based-Logistics-GuidebookMarch-2016.pdf> (дата обращения: 10.02.2024).
3. Кирпичев И.Г., Петров Д.В., Чинючин Ю.М. Многофункциональная интегрированная платформа сопровождения технической эксплуатации воздушных судов / Научный вестник МГТУ ГА. 2020. №6. С. 28-39.
4. Халилова П.Ю. К созданию автоматизированной системы мониторинга эксплуатации воздушных судов // Наука, техника и образование. 2017. №5 (35).
5. Далецкий С.В., Далецкий С.С. Графические модели процесса технической эксплуатации воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2017. №1.
6. Сливичкий А.Б. Обзор и анализ современных инструментов поддержки создания перспективной техники // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество. 2022. №5-1.
7. Cordes A., Hellingrath B. Development of a Reference Model for Spare Parts Logistics // Logistics Management. 2013. P. 163-175.
8. Rosemann M. Application reference models and building blocks for management and control // Handbook of enterprise architecture. 2003. P 595–615.
9. Biedermann H. Ersatzteilmanagement / Springer, Berlin. 2008.
10. Dangelmaier W., Emmerich A., Gajewski T. Ein Referenzmodell zur Beschreibung der Geschäftsprozesse von After-Sales-Dienstleistungen // Referenzmodellierung. Physika-Verlag. 2004.
11. Espindola D., Frazzon E.M., Hellingrath B., Pereira C.E. Integrating intelligent maintenance systems and spare parts supply chains // 14th IFAC symposium on information control problems in manufacturing. 2012. vol 14. P. 1017–1022.

Пелих Евгений Александрович, инженер, personal@eapelikh.ru, Россия, Москва, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),

Научный руководитель: Куприков Михаил Юрьевич, заведующий кафедрой, mkuprikov@gmail.com, Россия, Москва, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

AUTOMATED SYSTEM EFFICIENCY ASSESSMENT FOR MANAGING THE SUPPLY OF COMPONENTS FOR AVIATION EQUIPMENT

E.A. Pelikh

The main types of scenarios of interaction between engineering staff and aircraft at the operational stage are considered. A model of aircraft after-sales service based on reliability indicators is described. The basic description of the automated control system operation algorithm for processing operators' requests and delivery of components for aircraft is presented. The mechanism of the automated control system implementation efficiency evaluation is developed.

Key words: aviation equipment, maintenance, after-sales service, logistics, automation.

Pelikh Evgeniy Alexandrovich, engineer, personal@eapelikh.ru, Russia, Moscow, Moscow aviation institute (national research university),

Supervisor: Kuprikov Mikhail Yurievich, head of department, mkuprikov@gmail.com, Russia, Moscow, Moscow Aviation Institute (National Research University)

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКОЙ

А.В. Смольянинов, В.В. Ветохин, О.В. Собенина

В статье рассматриваются вопросы, связанные с синтезом системы автоматического управления щековой дробилкой, для чего были выявлены основные каналы управления и возмущения и получена ее математическая модель. На основе анализа математической модели было принято решение о выборе закона регулирования и проведена его параметрическая идентификация. Анализ показателей качества регулирования синтезированной системы выявил их существенную зависимость от возмущающего воздействия, что потребовало синтезировать компенсатор возмущения, включение которого в структуру системы позволило реализовать предъявляемые к ней требования.

Ключевые слова: системы автоматического управления, математическая модель, алгоритм управления.

Непрерывно растущие объемы строительства диктуют необходимость увеличения объемов производства строительных материалов. Последнее, учитывая, что одним из основных строительных материалов, без которого не обходится ни одно строительство является бетон, обуславливает высокий спрос на заполнители бетонных, асфальтовых и прочих строительных смесей. Это приводит к необходимости увеличения объемов и качества производства заполнителей, в частности, гранитного щебня.

Одним из решающих факторов, обеспечивающих рост объемов производства гранитного щебня при сохранении качественных показателей, является внедрение систем механизации и автоматизации на дробильно-сортировочных заводах. Это обуславливает актуальность разработки и внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами дробления гранитного щебня, которое, как правило, осуществляется в две стадии. Исходная горная масса с крупностью кусков до 1 200 мм доставляется из карьера в приемные бункеры ДСЗ 8-мью думпкарными «вертушками». Грузоподъемность думпкара 105 т, суммарная емкость трех приемных бункеров 1 500 м³. Разгрузка думпкаров производится с обоих железнодорожных путей в один, два или три бункера. Для уменьшения ударных нагрузок на полотно пластинчатого питателя разгрузка думпкаров производится на «подушку» из горной массы, которая всегда должна оставаться на полотне питателя при его остановках. Исключение составляют случаи, когда сам пластинчатый питатель останавливается на ремонт. Из приемных бункеров горная масса подается тремя пластинчатыми питателями тяжелого типа ПТ-1-24-150 в щековые дробилки (две дробилки СМД-117 и одна – СМД 60А с размерами приемного отверстия 1500*2100 мм и разгрузочными щелями 180 мм), где осуществляется процесс первичного дробления. Транспортирование продуктов первичной стадии дробления (0-300 мм) в промежуточные бункеры корпуса вторичного дробления осуществляется тремя независимыми ленточными конвейерами (В-1 600 мм), оборудованными металлоискателями [1].

На второй стадии дробления установлены шесть конусных дробилок КСД-2 200 (разгрузочная щель 38-40 мм), подача горной массы (0-300 мм) в которые осуществляется из промежуточных бункеров шестью пластинчатыми питателями ТК-15. Для создания двухлинейной схемы разгрузки каждой трех конусных дробилок (класс 0-90 мм) отгрузка горной массы производится на два независимых ленточных конвейера с шириной ленты В-1600 мм (ЛК-11, ЛК-12) (рис. 1).

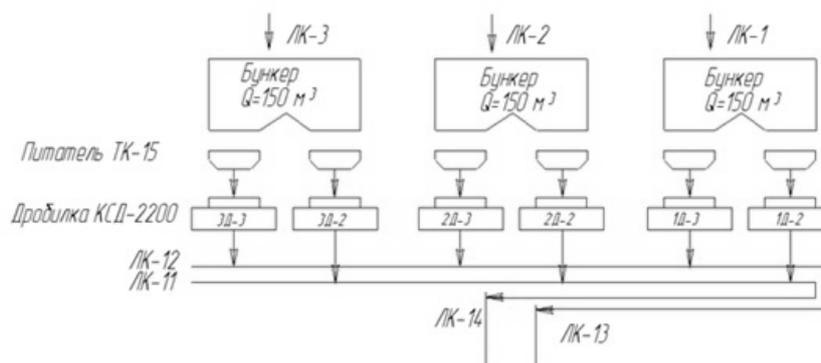


Рис. 1. Технологическая схема второй стадии дробления

Далее системой ленточных конвейеров продукты второй стадии дробления транспортируются в корпус третичного дробления, где двумя реверсивными «передвижными» конвейерами (В-1600 мм) распределяются по промежуточным аккумулятирующим бункерам ящичного типа суммарной емкостью 2400 м³.

На третьей стадии дробления установлены десять дробилок КМД-2200 (1Д4 - 1Д9 и 2Д4 - 2Д7 с разгрузочными щелями 15-18 мм), одна дробилка КИД-1200 м (2Д9, разгрузочная щель 15-18 мм) и одна дробилка КИД-1500 (2Д8).

Подача материала в дробилки производится ленточными конвейерами (В-1200 мм), которых оборудованы грохотами ГИТ-32М, осуществляющие предварительное грохочение для удаления мелочи из исходного материала [1].

Продукты третьей стадии дробления (класс 0-70 мм) двумя сборными и двумя магистральными ленточными конвейерами (В-1 600) транспортируются в корпус сортировки, где реверсивными передвижными конвейерами (В-1 600) (ЛК-31 и ЛК-32) разделяются аналогично третьему корпусу по промежуточным бункерам емкостью 2500 м³ каждый.

Аккумулирующие бункеры третьего корпуса и корпуса сортировки конструктивно выполнены без внутренних перегородок, что позволяет материалу засыпаться в соседний бункер и, следовательно, уменьшить простои разгрузочных ленточных конвейеров третьего корпуса и потоки корпуса сортировки [2].

Грохочение материалов с выделением щебня фракции 20-40 мм, смесей фракции от 5 до 20 мм, от 20 до 70 мм и щебеночно-песчаной смеси осуществляется на 24 технологических потоках, включающих грохоты ГИЛ-52П, СМД-121, ГИЛ-62, питатели ВД-2. Грохочение горной массы организовано в 4 самостоятельных блока. По вертикали блоки образуют три яруса: верхний, средний, нижний. На верхнем ярусе 3 и 4 блоков установлены грохота ГИЛ-52П с ситами 40x40 и 20x20 мм. На этом ярусе выделяется как готовый продукт, щебень фракции 20-40 мм, так и возвратный продукт для додробливания в замкнутом цикле, 40-70 мм и класс 0-20 мм, которые поступают на грохоты среднего и нижнего ярусов (сита 5*5мм) для выделения из них фракции от 5 до 20 мм и щебеночно-песчаной смеси 0-5 мм.

На верхнем ярусе 1 и 2 блоков грохоты ГИТ-52 оборудованы ситами 60*60 и 20*20 мм для получения как готового продукта, смеси фракций от 20 до 70 мм и класса 0-20 мм для дальнейшего отсева на грохотах среднего и нижнего ярусов.

Продукты грохочения самостоятельными конвейерными трактами подаются на открытые штабельные склады готовой продукции с отгрузкой затем в ж/д и автомобильный транспорт.

В настоящей работе рассматривается стадия первичного дробления, осуществляемая, как правило, щековыми дробилками, кинематическая схема которой приведена на рис.2 [2].

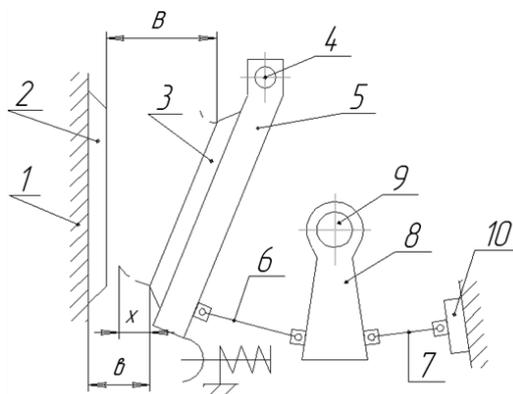


Рис. 2. Конструктивная схема щековой дробилки

Для определения оптимальных параметров настройки регуляторов необходимы сведения о статических и динамических характеристиках объекта регулирования и действующих возмущений. Эти характеристики могут быть получены либо аналитически, либо экспериментально. Ввиду недостаточной изученности объектов регулирования и необходимости принимать при их математическом описании ряд упрощающих предположений наиболее достоверными следует признать статические и динамические характеристики объектов регулирования, полученные экспериментально. Статические характеристики действующих в АСР возмущений могут быть получены только в результате эксперимента.

Для определения передаточной функции щековой дробилки рассмотрим камеру дробления (рис. 3).

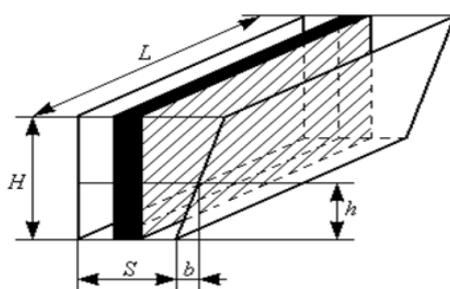


Рис. 3. Камера дробления

Анализ конструкции щековой дробилки позволяет сделать вывод, что при нормальном ее функционировании, запас материала в дробилке должен быть постоянным. Последнее означает, что расход материала, поступающего в дробилку Q_{Π} [кг/с] и ее производительность $Q_{\text{д}}$ [кг/с] связаны уравнением материального баланса:

$$\frac{dM}{dt} = Q_{\Pi}(t) - Q_{\text{д}}(t) \quad (1)$$

где M – запас материала в дробилке [3].

Линеаризация уравнения материального баланса методом малых отклонений позволяет представить (1) в виде:

$$\frac{d\Delta M}{dt} = \Delta Q_{\Pi}(t) - \Delta Q_{\text{д}}(t) \quad (2)$$

где ΔM , ΔQ_{Π} , $\Delta Q_{\text{д}}$ – приращения массы, материала, поступающего в дробилку и ее производительности соответственно [4].

В соответствии с рис. 3 приращение масса материала в дробилке составит:

$$\Delta M = \gamma \Delta V = \gamma H L \Delta S \quad (3)$$

где ΔS – изменение величины разгрузочного отверстия.

Приращение производительности дробилки:

$$\Delta Q_D = 60 \mu n \gamma \Delta V_B \quad (4)$$

где $\mu = 0,3 \dots 0,65$ – коэффициент разрыхления материала; n – частота качания щеки в минуту; ΔV_B – приращение объема материала в призме выпадения.

В соответствии с рис. 3:

$$\Delta V_B = h L \Delta S \quad (5)$$

Тогда, в соответствии с (4) приращение производительности дробилки составит:

$$\Delta Q_D = 60 \mu n \gamma h L \Delta S \quad (6)$$

откуда:

$$\Delta S = \frac{1}{60 \mu n \gamma h L} \Delta Q_D \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет представить (3) в виде:

$$\Delta M = \frac{H}{60 \mu n h} \Delta Q_D \quad (8)$$

С учетом (8) уравнение материального баланса (2) примет вид:

$$\frac{H}{60 \mu n h} \frac{d \Delta Q_D(t)}{dt} + \Delta Q_D(t) = \Delta Q_{II}(t) \quad (9)$$

В соответствии с (9) передаточная функция дробилки по каналу «расход материала, поступающего в дробилку – производительность дробилки» с учетом запаздывания, обусловленного свободным падением материала может быть записана в виде [5]:

$$W(s) = \frac{\Delta Q_D(s)}{\Delta Q_{II}(s)} = \frac{e^{-(\tau_1 + \tau_2)s}}{T_1 s + 1} \quad (10)$$

где $T_1 = \frac{H}{60 \mu n h}$ – постоянная времени, τ_1, τ_2 – время запаздывания.

Вместе с тем, поскольку щековая дробилка, как правило, выполняет роль головного технологического агрегата ее производительность, а следовательно, и габариты существенно больше габаритов последующих агрегатов. Поэтому на производительность дробилки в неустановившемся режиме влияет не полный запас материала M_Σ , а его эффективное значение $M_{эф} < M_\Sigma$, находящееся в непосредственном контакте с «призмой выпадения» [6].

На основании представления о разделении полного запаса материала на эффективную и предварительную зоны и применяя к отдельным зонам выражение материального баланса и функциональной зависимости между производительностью дробилки и полным запасом материала, можно получить систему уравнений щековой дробилки:

$$\begin{aligned} M_{II}(s) &= \frac{T_{II}}{s} (Q_{II}(s) - Q_{II}(s)) \\ M_{эф}(s) &= \frac{T_{эф}}{s} (Q_{II}(s) - Q_D(s)) \end{aligned} \quad (11)$$

где M_{II} – запас материала в зоне предварительного дробления; $M_{эф}$ – запас материала в зоне эффективного дробления; Q_{II} – производительность в зоне предварительного дробления; Q_D – производительность дробилки; $T_{II}, T_{эф}$ – постоянные времени [7].

В соответствии с (11) передаточная функция дробилки по рассматриваемому каналу примет вид:

$$W_1(s) = \frac{\Delta Q_D(s)}{\Delta Q_{II}(s)} = \frac{e^{-(\tau_1 + \tau_2)s}}{(T_{II}s + 1)(T_{эф}s + 1)} \quad (12)$$

Дальнейший анализ работы щековой дробилки, позволяет сделать вывод, что при изменении ширины выходной щели S , помимо гранулометрического состава щебня, будет меняться и ее производительность, что также необходимо учитывать при проектировании системы автоматического регулирования [8].

При изменении потока материала, поступающего в дробилку, будет изменяться, и объемная масса находящегося в ней материала.

$$\Delta Q_{II} = \frac{\gamma}{T_0} \Delta V = \frac{\gamma H L}{T_0} \Delta S \quad (13)$$

где T_0 – время, за которое камера дробилки полностью заполняется материалом при $Q_D=0$.

Подставив (13) в (9) получим:

$$\frac{H}{60 \mu n h} \frac{d \Delta Q_D(t)}{dt} + \Delta Q_D(t) = \frac{\gamma H L}{T_0} \Delta S(t) \quad (14)$$

Выражение (14) позволяет записать передаточную функцию по каналу $Q_D(s) \rightarrow S(s)$

$$W_2(s) = \frac{\Delta Q_D(s)}{\Delta S(s)} = \frac{\frac{\gamma H L}{T_0}}{\frac{H}{60 \mu n h} s + 1} = \frac{K}{T_2 s + 1} \quad (15)$$

где $K = \frac{\gamma H L}{T_0}$ – коэффициент передачи, $T_2 = \frac{H}{60 \mu n h}$ – постоянная времени.

С учетом запаздывания передаточная функция (15) примет вид:

$$W_2(s) = \frac{K e^{-\tau_2 s}}{T_2 s + 1} \quad (16)$$

Учитывая, что времена запаздывания τ_1 и τ_2 пренебрежимо малы, по сравнению с постоянными времени T_1 и T_2 , а также представляя питатель дробилки по каналу «частота вращения электродвигателя – производительность питателя» в виде пропорционального звена [9]. Окончательно получим структурную схему щековой дробилки, приведенную на рис. 4.

Для параметрической идентификации щековой дробилки воспользуемся пактом расширения SystemIdentificationToolbox системы программирования MatLab. В качестве исходных данных будем использовать осциллограммы сигналов на входе (изменение частоты вращения электродвигателя питателя) и выходе (изменение производительности щековой дробилки) объекта управления при постоянной величине выходного отверстия S (рис.5).

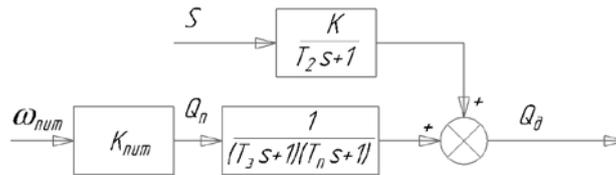


Рис. 4. Структурная схема щековой дробилки

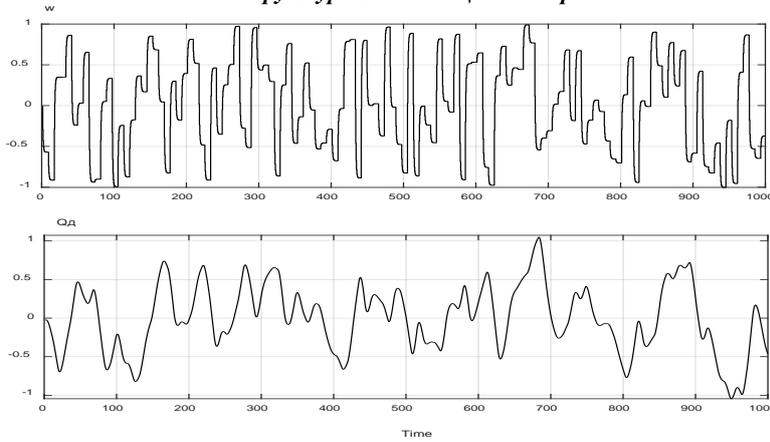


Рис. 5. Осциллограммы входного и выходного сигналов

Окно модуля SystemIdentification после ввода исходных данных приведено на рис. 6.

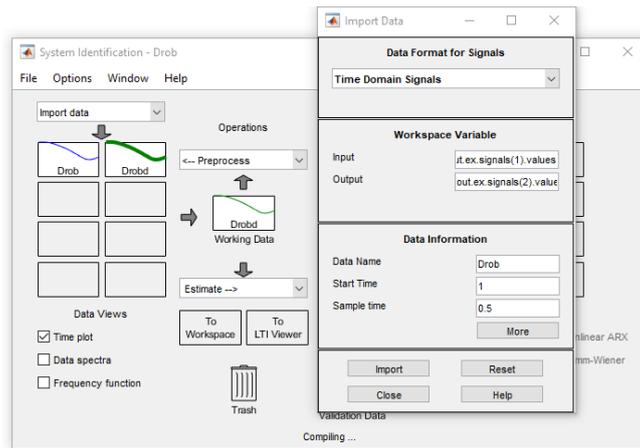


Рис. 6. Ввод исходных данных

Далее, активизировав раскрывающийся список Estimate выберем TransferFunctionModels, и в открывшемся окне вводим порядки полиномов числителя и знаменателя искомой передаточной функции (в нашем случае 0 и 2 соответственно) и запускаем процесс идентификации [10]. Результат идентификации приведен на рис. 7.

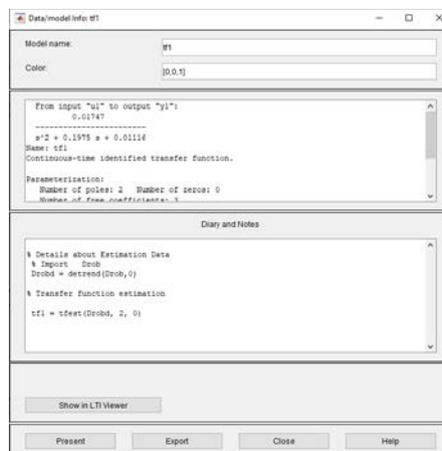


Рис. 7. Результаты идентификации объекта управления

Как видно из рис. 7 искомая передаточная функция представлена в виде:

$$W_y(s) = \frac{0.01747}{s^2+0.1975s+0.0116} = \frac{1.57}{89.6s^2+17.7s+s} = \frac{K}{T_1s^2+1} \quad (17)$$

Аналогично определяем параметры передаточной функции по каналу возмущения (S→Q_д):

$$W_B(s) = \frac{0.12}{6.3s+1} \quad (18)$$

Анализ технологического процесса первичного дробления позволил сформулировать требования, предъявляемые к замкнутой системе управления: время регулирования – $t_p \leq 40$ с; перерегулирование – $\delta \leq 5\%$; установившаяся ошибка – $\varepsilon \approx 0$

Поскольку передаточная функция объекта по каналу управления описывается инерционным звеном второго порядка, то для реализации предъявляемых к системе требований достаточно ПИД – закона регулирования [11].

Для определения параметров регулятора воспользуемся модулем настройки PID – Controller системы программирования MatLab. Для этого составим структурную схему замкнутой системы (рис.8) и двойным щелчком мыши по блоку PID(s), вызовем окно выбора передаточной функции контроллера (рис. 9).

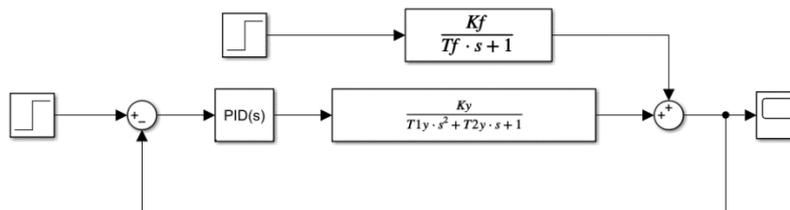


Рис. 8. Структурная схема замкнутой системы

В открывшемся окне необходимо выбрать ПИД – закон регулирования и задать начальные приближения параметров регулятора [12]. Как видно из рис. 9 передаточная функция регулятора ищется в виде:

$$W_p(s) = P \left(1 + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}} \right) \quad (19)$$

где P , I , D и N параметры настройки.

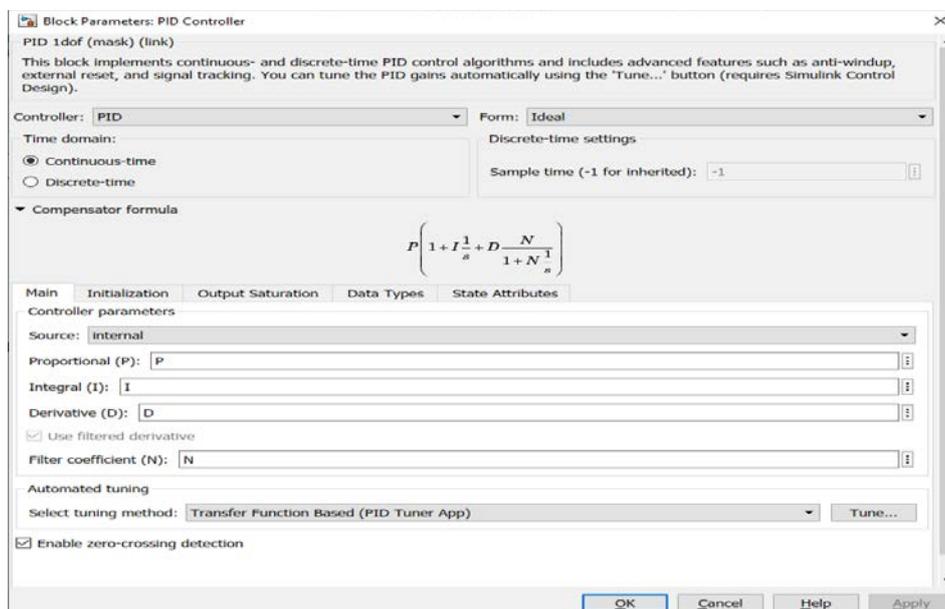


Рис. 9. Окно выбора передаточной функции регулятора

Для уточнения предварительно выбранных параметров настройки необходимо нажать на кнопку Tune... (Настроить). Это приведет к появлению окна настройки PID – Controller (рис. 10) где, перемещая ползунки ResponseTime (Время отклика) и TransientBehavior (Переходное поведение) необходимо скорректировать переходной процесс. Параметры настройки будут отражены в окне ShowParameters (рис. 10). Переходной процесс в замкнутой системе при параметрах настройки: $P = 1.4679$; $I = 0.064085$; $D = 3.8669$; $N = 14.6347$ приведен на рис. 11.

Анализ рис. 11 показывает, что требуемые показатели качества во временной области реализованы:

- время регулирования – $t_p \leq 38$ с;
- перерегулирование – $\delta = 1\%$;
- установившаяся ошибка – $\varepsilon \approx 0$.

На рис. 12 приведен переходной процесс по каналу возмущения, анализ которого показывает, что в переходных режимах наблюдается недопустимое по технологическим требованиям перерегулирование. Учитывая, что для данного контура возмущающее воздействие легко измеряемо, целесообразно для его подавления целесообразно использовать компенсатор возмущения (рис.13) [13].

В соответствии с рис. 13 изображение выходного сигнала замкнутой системы можно представить в виде:

$$Q_D(s) = \frac{W_p(s)W_y(s)}{1+W_p(s)W_y(s)} U_{зд}(s) + \frac{W_k(s)W_y(s)+W_b(s)}{1+W_p(s)W_y(s)} S(s) \quad (20)$$

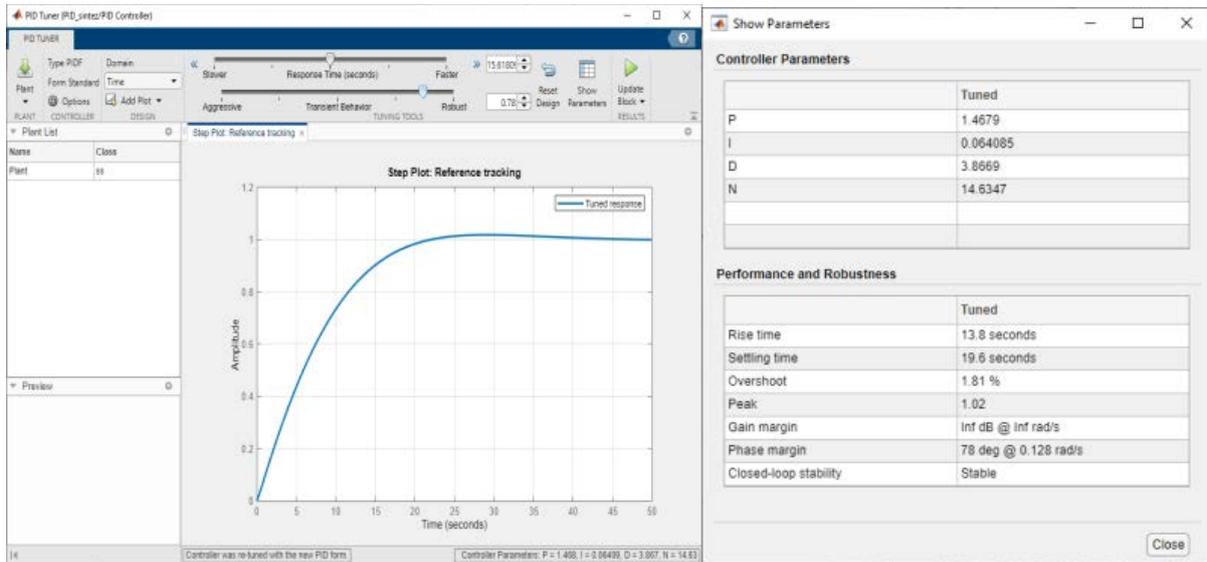


Рис. 10. Окно выбора настроек PID – Controller

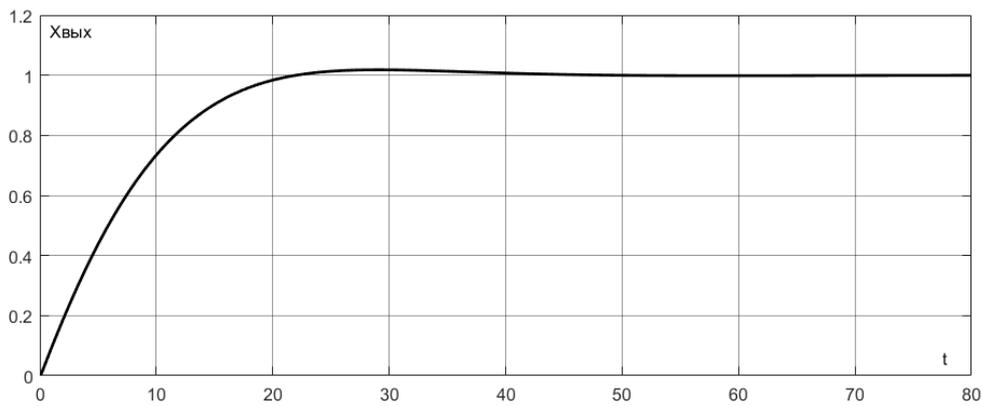


Рис. 11. Переходная характеристика по каналу управления

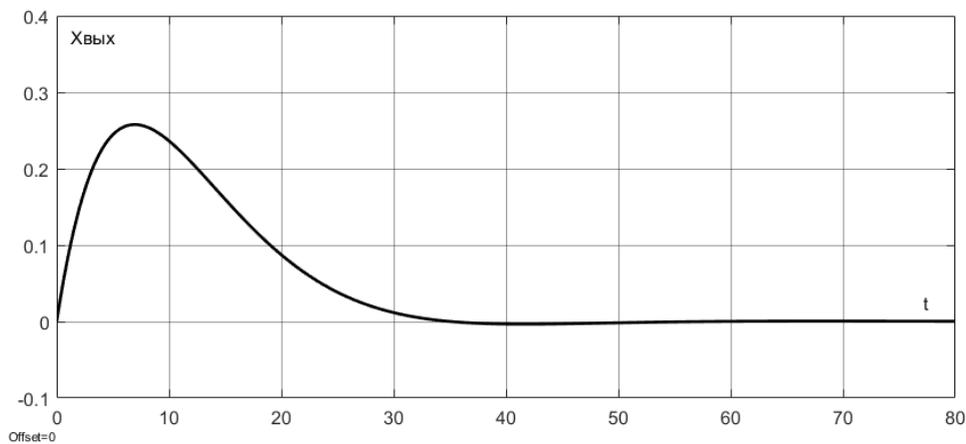


Рис. 12. Переходной процесс по каналу возмущения

В соответствии с условиями: выходной сигнал не будет зависеть от возмущающего воздействия при выполнении условия:

$$W_k(s)W_y(s) + W_b(s) = 0 \quad (21)$$

откуда

$$W_k(s) = -\frac{W_b(s)}{W_y(s)} \quad (22)$$

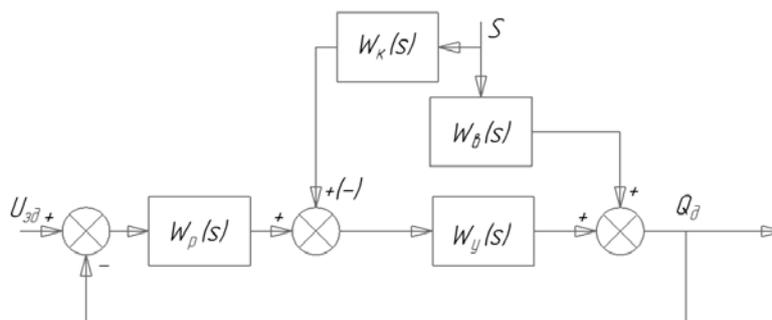


Рис. 13. Структурная схема замкнутой системы с компенсатором возмущения

С учетом (17) и (18) перепишем (22) в виде:

$$W_k(s) = - \frac{\frac{0.12}{6.3s+1}}{\frac{1.57}{89.6s^2+17.7s+1}} = - \frac{10.752s^2+2.124s+0.12}{9.891s+1.57} \quad (23)$$

Анализ показывает, что порядок числителя на единицу больше порядка знаменателя, что говорит о нереализуемости такого звена. Для обеспечения технической реализуемости компенсатора, добавим в его передаточную функцию один быстрый полюс, который не окажет существенного влияния на выходной сигнал компенсатора [14].

В соответствии с доминирующей полюс компенсатора $s = -0.159$, тогда полюс $s = -1$ может считаться быстрым и передаточная функция компенсатора примет вид:

$$W_k(s) = - \frac{10.752s^2+2.124s+0.12}{(9.891s+1.57)(s+1)} \quad (24)$$

Переходные процессы в замкнутой системе с компенсатором возмущающего воздействия и без него приведены на рисунке 14. Анализ переходных процессов, приведенных на рисунке показывает, что использование компенсатора позволяет существенно снизить влияние возмущающего воздействия [15].

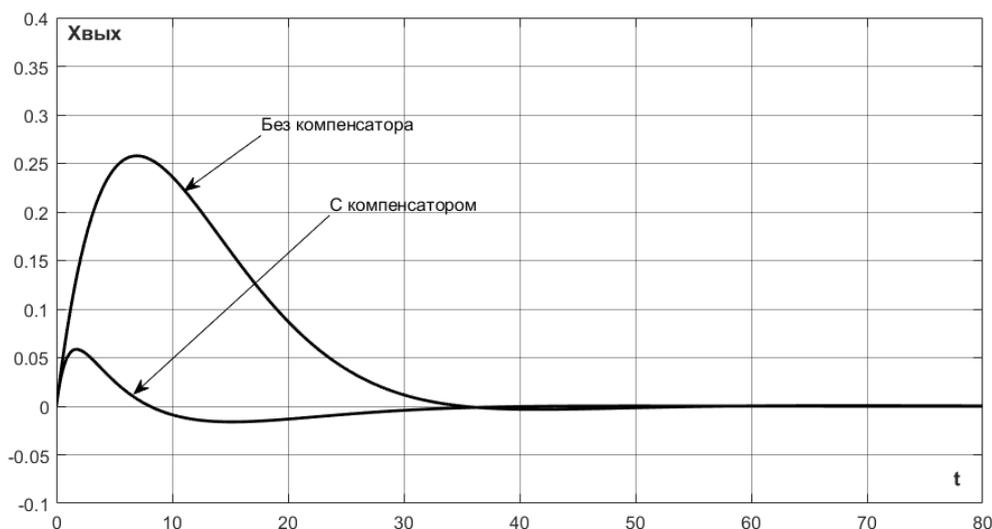


Рис. 14. Переходные процессы по каналу возмущения в системе с компенсатором возмущения

В результате выполнения настоящей работы была получена аналитическая модель щековой дробилки по каналам «производительность питателя – производительность дробилки» и «величина выходного отверстия – производительность дробилки». Используя систему программирования MatLab и осциллограммы соответствующих входных и выходных сигналов проведена параметрическая идентификация полученных моделей, что позволило синтезировать алгоритм управления производительностью щековой дробилки. Анализ переходных процессов по каналам управления и возмущения обусловил целесообразность синтеза компенсатора возмущающего воздействия. В результате предложена система управления щековой дробилкой, позволяющая стабилизировать ее производительность, которая после экспериментальной проверки может быть рекомендована к внедрению.

Список литературы

1. Жулай В.А., Шарипов Л.Х. Машины и оборудование для грохочения, сепарации и классификации строительных материалов. Конструкции и расчеты: учебное пособие. Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2021. 217 с.
2. Жулай В.А., Шарипов Л.Х. Машины для механической сортировки строительных материалов. Конструкции и расчеты : учебное пособие. Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2021. 100 с.
3. Смольянинов А.В., Денискин Ю.И., Поцбенева И.В., Синтез предварительного компенсатора при управлении mmo-системами. Качество и жизнь. 2022. № 2 (34). С. 19-28.
4. Поляков С.И. Дозирование сыпучих материалов на базе контроллера OMRON. КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2022. № 2. С. 33-36.

5. Смольянинов А.В., Гусев П.Ю., Григорьев Е.В., Система управления весовым дозатором дискретного действия. *Качество жизни*. 2023. № 2 (38). С. 36-44. DOI: 10.34214/2312-5209-2023-38-2-36-44
6. Deniskina A.R., Pochbneva I.V., Smolyaninov A.V., Multidimensional object management. *Всборнике: Proceedings - 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021*. 2021. С. 17-22. DOI: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537333
7. Kuznetsov M.V., Gusev P.Yu., Bredihin A.V., Chizhov M.I., Simulation modeling of the automated system tasks of production technical preparation. *Всборнике: AIP Conference Proceedings. Melville, New York, United States of America, 2021*. С. 50029. DOI: 10.1063/5.0071461
8. Гусев П.Ю., Чижев М.И., Скрипченко Ю.С., Разработка принципов формирования структуры объектов в имитационных моделях. В сборнике: *Информатика: проблемы, методы, технологии. Материалы XX Международной научно-методической конференции. Под редакцией А.А. Зацаринного, Д.Н. Борисова*. 2020. С. 1739-1744.
9. Danilov A.D., Gusev P.Yu., Gorbunov V.G., Sobenina O.V., Voronov S.A., Situation management model of technological process in resources distribution conditions. *Всборнике: Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020*. С. 32070. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/3/032070
10. Sinyukov D.S., Danilov A.D., Aksenov I.A., Comparative analysis of software systems for intelligent operator support at the upper management level. *Всборнике: Proceedings II International Scientific Conference on Advances in Science, Engineering and Digital Education (ASEDU-II-2021). Conference Proceedings. Krasnoyarsk, 2022*. С. 70009. DOI: 10.1063/5.0104414
11. Akimov V.I., Polukazakov A.V., Efimova O.E., Desyatirikov F.A., Improving the efficiency of smart home design and operation. *Всборнике: Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022*. 2022. С. 523-528. DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755467
12. Krysanov V., Danilov A., Burkovsky V., Gusev P., Gusev K., Optimization of electric transmission lines (etl) operation modes based on hardware solutions of process platform facts. *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2020. Т. 154. С. 623-630. DOI: 10.1007/978-981-13-9267-2_51
13. Polyakov S.I., Akimov V.I., Polukazakov A.V., Application of the theory of statistical hypotheses in tasks of automating technological processes. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2022. Т. 857 LNEE. С. 43-56 DOI: 10.1007/978-3-030-94202-1_5
14. Desyatirikova E.N., Efimova O.E., Akimov V.I., Polukazakov A.V., Visualization of virtual devices in the design and operation of automation systems and tools. *Всборнике: Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021*. 2021. С. 425-429. DOI: 10.1109/ITQMIS53292.2021.9642921
15. Smolyaninov A.V., Pochbneva I.V., Deniskina A.R., Fuzzy control of the polymerizer start process in the production of bottle-making. *Всборнике: Proceedings - 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021*. 2021. С. 277-282. DOI: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537471

Смольянинов Андрей Викторович, канд. техн. наук, доцент, a.v.smolyaninov@yandex.ru, Россия, Воронеж, Воронежский государственный технический университет,

Ветохин Валерий Викторович, канд. техн. наук, доцент, daiolix@yandex.ru, Россия, Воронеж, Воронежский государственный технический университет,

Собенина Ольга Валерьевна, канд. техн. наук, доцент, sobenina36@mail.ru, Россия, Воронеж, Воронежский государственный технический университет

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM JAW CRUSHER

A.V. Smolyaninov, V.V. Vetokhin, O.V. Sobenina

The article discusses issues related to the synthesis of an automatic control system for a jaw crusher, for which the main control channels and disturbances were identified and its mathematical model was obtained. Based on the analysis of the mathematical model, a decision was made to select the control law and its parametric identification was carried out. Analysis of the control quality indicators of the synthesized system revealed their significant dependence on the disturbing influence, which required the synthesis of a disturbance compensator, the inclusion of which in the structure of the system made it possible to implement the requirements for it.

Key words: automatic control systems, mathematical model, control algorithm.

Smolyaninov Andrey Viktorovich, candidate of technical sciences, docent, a.v.smolyaninov@yandex.ru, Russia, Voronezh, Voronezh State Technical University,

Vetokhin Valery Viktorovich, candidate of technical sciences, docent, daiolix@yandex.ru, Russia, Voronezh, Voronezh State Technical University,

Sobenina Olga Valerievna, candidate of technical sciences, docent, sobenina36@mail.ru, Russia, Voronezh, Voronezh State Technical University

ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТОПЛИВНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Т.А. Енютина, Л.В. Кулагина, С.Г. Марченкова, М.М. Гафуров

Актуальность исследования обусловлена необходимостью улучшения способов защиты топливных трубопроводов от протечек на промышленных, нефтедобывающих, нефтеперерабатывающих предприятиях. Известно, что трубопроводы являются самым безопасным и экономически целесообразным способом транспортировки энергетических продуктов, таких как природный газ, сырая нефть и другие виды топлива, однако аварии приводят к значительным негативным последствиям. Предлагается конструкция предохранительного устройства для перекрытия топливных трубопроводов при возникновении возгорания. При этом осуществляется автоматическое срабатывание устройства за счет использования в его конструкции пружины из материала с памятью формы.

Ключевые слова: топливный трубопровод, нефтепродукты, пружина из материала с памятью формы, нитинол, пожар.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики [1] среднесуточная добыча нефти в России в мае 2021 г. составила 10 431 тыс. баррелей. Это второй результат в мире. На первом – США (10 955 тыс. баррелей в день). На третьем – Саудовская Аравия (8 544 тыс. баррелей в день). Магистральные нефтепроводы являются самыми экономически рентабельными вариантом транспортировки нефтепродуктов. В настоящее время этапы проектирования, строительства и эксплуатации нефтепродуктов находятся на высоком техническом уровне. Однако, несмотря на это, полностью исключить аварии на нефтепроводах не удастся. Федеральное Министерство энергетики РФ заявляет о более, чем 17 тыс. аварий с разливами нефтепродуктов, допущенными в 2019 году [2].

Почти 90% аварий на нефтепроводах происходит из-за коррозии труб, на долю износа труб приходится более 70 %. Многие промышленные трубопроводы эксплуатируются еще с советских времен, и без надлежащего обслуживания и своевременного ремонта количество разрывов трубопроводов будет расти год от года.

Чрезвычайные ситуации (ЧС), возникающие в случае возгорания при открытом фонтанировании газообразных или жидких горючих веществ из трубопроводов приводят к людским травмам или смертям, значительным материальным затратам и обширному ущербу для окружающей среды. окружающей среде [3-4]. Самоочищение водоёмов от нефтяного загрязнения — длительный процесс. Поэтому на ЧС нужно реагировать максимально оперативно, в идеале - предотвращая инциденты и минимизировать вероятность возникновения внештатной ситуации, способной привести к катастрофическим последствиям.

Предлагаемое устройство [5] может быть использовано в нефтегазовой промышленности как средство аварийного отключения нефтяных скважин и топливопроводов в случае пожара, а также как превентивное устройство для герметизации устьев скважин в аварийных ситуациях с целью предотвращения выброса нефти, распространения пожаров и загрязнения окружающей среды. В механизме автоматического срабатывания устройства используется пружина из материала с эффектом "памяти формы" (например, нитинола), которая удлиняет форму материала, когда температура достигает точки перехода.

Нитинол (55% никеля, 45% титана) обладает чётко выраженным свойством деформации при изменении температуры, причем диапазон температур можно регулировать от нескольких до десятков градусов, вводя в сплав различные примеси. Кроме того, нитинол легко обрабатывается, устойчив к коррозии и обладает выдающимися физико-механическими свойствами. Например, он имеет предел прочности на растяжение $\sigma_b = 850$ МПа, предел текучести $\sigma_t = 195 - 690$ МПа, более высокую демпфирующую способность, чем у чугуна, высокую пластичность ($d = 100, 15\%$), и способность «вспоминать» форму до миллиона раз [6].

Для проверки возможности использования пружин в предлагаемой конструкции была разработана испытательная установка с целью получения зависимости усилия F , H , развиваемого пружиной, выполненной из материала с «памятью формы», от температуры t , °С, то есть $F = f(t)$. Геометрические характеристики пружины приведены в табл. 1. Общий вид опытной установки приведён на рис. 1.

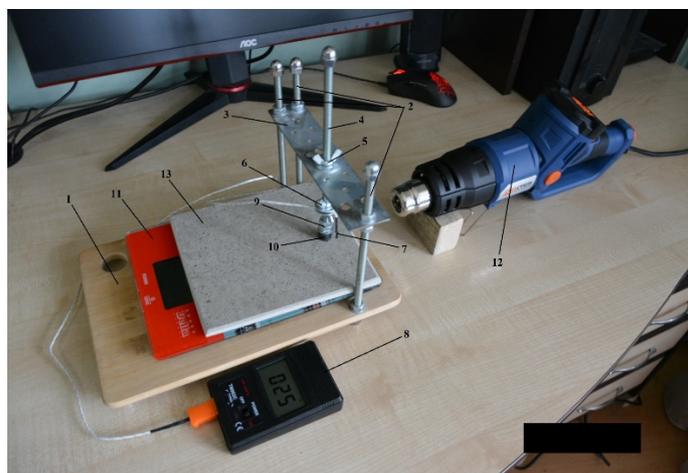


Рис. 1. Общий вид опытной установки: 1 – площадка; 2 – стойка; 3 – планка; 4 – шток; 5 – гайка «барашек»; 6 – крепление для температурного щупа; 7 – температурный щуп; 8 – цифровой термометр; 9 – упорная гайка; 10 – пружина; 11 – цифровые весы; 12 – технический фен; 13 – пластина из огнеупорного материала

Таблица 1

Основные геометрические характеристики пружины		
Характеристика	Единица измерения	Значение
Высота пружины в исходном состоянии	мм	10
Максимальная высота в нагретом состоянии	мм	18
Диаметр проволоки	мм	1,8
Количество витков пружины	шт	5
Внешний диаметр пружины	мм	14

Устройство имеет платформу (1), на которой закреплен кронштейн (2). На кронштейне горизонтально закреплена перекладина (3), а через центр кронштейна проходит перекладина (4). Положение перекладины (4) относительно кронштейна (1) регулируется и фиксируется двумя гайками-"барашками" (5). К нижней части стержня (4) крепится термопара (6), а к цифровому термометру TM902C (8) подключается температурный зонд ТТD-01 (7). На нижнем конце стержня закреплена фланцевая гайка (9) для позиционирования и центрирования тестируемой пружины (10); на платформе (1) установлены электронные весы DELTA KCE-22-F302 (11). Фен Dexter Power Technical HG-DP2000-LCD (12) используется для нагрева тестируемой пружины (10). Для того чтобы диск весов (11) не подвергался воздействию горячего воздуха, на диск весов устанавливается пластина (13) из огнеупорного материала. Результаты опытов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Установившаяся температура воздуха вблизи исследуемой пружины t , °C	Усилие развиваемое пружиной F, Н			
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Среднее значение
50	3,49	3,07	3,51	3,36
60	16,41	13,86	15,74	15,33
70	25,21	23,34	23,29	23,95
80	27,84	26,45	26,94	27,07
90	28,49	27,65	28,15	28,10
100	28,88	28,21	28,54	28,54
110	29,30	28,53	29,07	28,97
120	29,60	28,80	29,35	29,25
130	29,81	29,05	29,58	29,48

Для большей наглядности результаты представлены в виде графической зависимости (рис. 2).

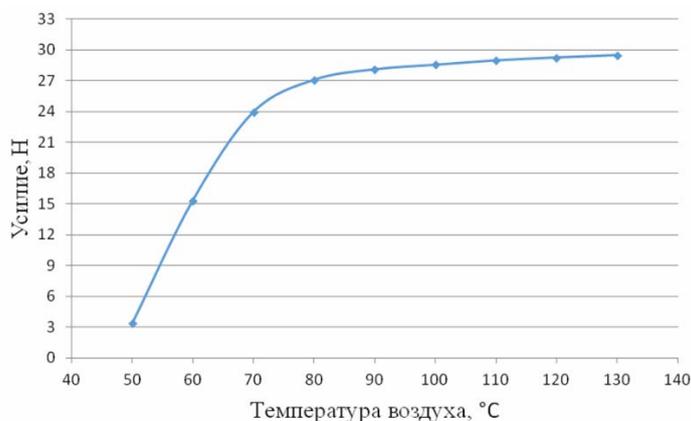


Рис. 2. График зависимости $F = f(t)$

Полученную зависимость $F = f(t)$ можно представить методом кубической аппроксимации [7] в виде уравнения

$$F = 0,0001597222t^3 - 0,0506915584t^2 + 5,3176749639t - 155,5989177486 ,$$

причём ошибка составляет 2,1390226143375374868 %

$$F = 0,000159t^3 - 0,0507t^2 + 5,318t - 155,596 ,$$

ошибка составляет $\approx 7,2\%$.

Ниже представлена конструкция предохранительного устройства, схема которого в перекрытом положении представлена на рис. 3.

Устройство аварийного отключения топливопровода включает в себя корпус 1 с центральным каналом 2 и горизонтальным боковым выступом 3, встраиваемый в линию рабочего трубопровода с помощью фланцевых соединений (условно не показано). В корпусе 1 в поперечном направлении выполнен горизонтальный плащечный канал 4 прямоугольного поперечного сечения, проходящий через боковой выступ 3 и сообщающийся с центральным каналом 2. В горизонтальном плащечном канале 4 расположена плоская плашка 5 устройства, выполненная в виде диска, с возможностью возвратно-поступательного перемещения в нем и перекрытия центрального канала 2 с помощью механизма автоматического срабатывания, размещенного в корпусе 6. При этом корпус 6 механизма автоматического срабатывания устройства присоединен к боковому выступу 3 корпуса 1 соосно с горизонтальным плащечным каналом 4 с помощью болтовых соединений. Плоская плашка 5 жестко соединена со штоком 7, на выходе кото-

рого из корпуса 1 выполнен уплотнительный узел 8, располагающийся между корпусами 1 и 6, последний из которых предназначен для монтажа элементов, необходимых для перемещения плоской плашки 5 устройства и образующих механизм автоматического срабатывания конструкции при пожаре вблизи устройства. На конце штока 7 установлен диск 9, расположенный в корпусе 6. Конец корпуса 6 закрыт торцевой крышкой 10, соединенной с корпусом 6 с помощью фланцевых соединений. В корпусе 6 также расположена пружина 11, один конец которой закреплен на диске 9, а второй - на торцевой крышке 10. При этом пружина 11 является приводным элементом и изготовлена из материала с эффектом «памяти формы», например, нитинола, с возможностью изменения формы, в частности увеличения длины пружины для осуществления перемещения плашки 5 при повышении температуры до температуры трансформации формы. Для улучшения теплообмена с окружающей средой поверхность корпуса 6 автоматического рабочего механизма устройства перфорирована.

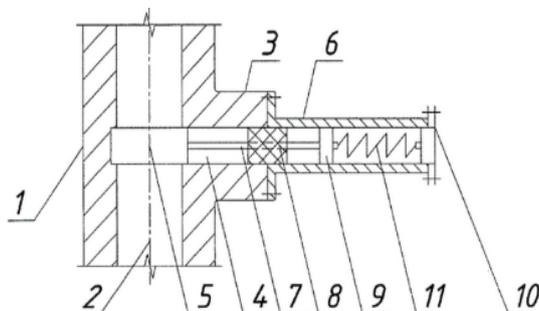


Рис. 3. Принципиальная схема предохранительного устройства

Противопожарные свойства устройства заключаются в следующем. При эксплуатации топливных трубопроводов в стандартном безопасном режиме пружина 11 имеет исходную первоначальную длину, а плоская плашка 5 располагается в горизонтальном пласечном канале 4 в крайнем правом положении (по чертежу). При этом центральный канал 2 корпуса 1 открыт для прохода рабочего потока. При возникновении аварийной ситуации, в частности, пожара на скважине или в зоне расположения трубопровода, температура вблизи устройства резко повышается. Пружина 11, выполненная из материала с памятью формы и являющаяся приводным элементом механизма автоматического срабатывания, при нагревании изменяет форму, становится длиннее и воздействует на диск 9 штока 7, вследствие чего, соединенная со штоком 4 плоская плашка 5 перемещается влево и перекрывает центральный канал 2 корпуса 1, как показано на приведенном чертеже. Когда аварийная ситуация заканчивается, пружина 11 возвращается в исходное положение и рабочий поток возобновляет прохождение.

С целью определения характеристик пружины выполнен конструкторский расчёт предохранительного устройства [8] с использованием данных по физико-механическим свойствам нитинола (табл. 3).

Таблица 3

Результаты конструкторского расчёта предохранительного устройства

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Значение
Давление в трубопроводе	p	МПа	1,0
Условный диаметр	D_v	мм	40,0
Усилие затяжки сальника	Q_c	Н	594,4
Сила трения между сальниковой набивкой и штоком	F_c	Н	274,6
Давление среды на плашку	Q_{cp}	Н	2374,6
Усилие, с которым рабочая среда «выдавливает» шток из устройства	$Q_{штп}$	Н	254,6
Усилие на штоке в момент открывания	$Q_{от}$	Н	1537,3
Усилие на штоке в момент закрывания	$Q_{зкр}$	Н	671,1

Согласно [8], выбрана пружина расширения: диаметр прутка $d = 7$ мм, наружный диаметр $D_1 = 40$ мм, свободная длина $L_0 = 160$ мм, число витков $n = 16$, усилие пружины $F_n = 2151$ Н, артикул 3604.

Выводы:

1. Преимущество предлагаемого конструктивного решения для аварийного закрытия топливopроводов заключается в том, что оно достаточно простое в реализации, поскольку количество элементов в механизме автоматического срабатывания невелико, а в качестве исполнительного элемента используется пружина из материала с памятью формы.
2. Не требуется специального обслуживания, что снижает эксплуатационные расходы.
3. Техническими результатами внедрения этого оборудования стали расширение выбора технических мероприятий, применяемых для аварийного отключения топливopроводов, упрощение конструкции оборудования, повышение пожарной безопасности при эксплуатации нефтяных скважин и топливopроводов.

Список литературы

1. Сайт rosstat.gov.ru, Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/70843/document/129841> (дата обращения: 14.01.2024).
2. Сайт dprom.online, Журнал «Добывающая промышленность» [Электронный ресурс] URL: <https://dprom.online/oilngas/avarii-na-nefteprovodah> (дата обращения: 15.01.2024).
3. Енютина Т.А. Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности: учеб. пособие / Т. А. Енютина, Л. В. Кулагина. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2022. 190 с.

4. Промтов М.А. Безопасная эксплуатация технологического оборудования : учеб. пособие / М.А. Промтов, В.Я. Борщев, Г.С. Кормильцин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. 80 с.
5. Патент № 194845 Российская Федерация, МПК E21B 33/06 (2006.01), E21B 34/16 (2006.01), F16K 31/64 (2006.01). Устройство для аварийного отключения топливных трубопроводов: заявл. 25.02.2019: опубл. 25.12.2019 / Кулагина Т.А., Енютина Т.А., Забинов А.В., Калинин И.В., Марченкова С.Г.
6. Сайт wikipedia.org [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%BB> (дата обращения: 15.01.2024).
7. Сайт strtool.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://strtool.ru/Catalog%20Lesjofors%2015%20Russian%20СТРnew.pdf> (дата обращения: 15.01.2024).
8. ГОСТ 13772-86. Межгосударственный стандарт. Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения II класса, разряда 3 из стали круглого сечения. Дата введения 1988-07-01. Переиздание (сентябрь 1999 г.) с Изменением N 1, утвержденным в ноябре 1988 г. (ИУС 2-89).

Енютина Тамара Афанасьевна, канд. техн. наук, доцент, tamara.taiga@yandex.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Кулагина Людмила Владимировна, канд. техн. наук, доцент, klvation@gmail.com, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Марченкова Светлана Георгиевна, канд. техн. наук, доцент, SMarchenkova@sfu-kras.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Гафуров Марат Мисютович, аспирант, gmar2021@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет

SAFETY DEVICE FOR PROTECTING FUEL PIPES

T.A. Yeutina, L.V. Kulagina, S.G. Marchenkova, M.M. Gafurov

The relevance of the study is due to the need to improve methods of protecting fuel pipelines from leaks at industrial, oil-producing, and oil-refining enterprises. It is known that pipelines are the safest and most cost-effective way to transport energy products such as natural gas, crude oil and other fuels, but accidents lead to significant negative consequences. A design of a safety device is proposed for shutting off fuel pipelines in the event of a fire. In this case, the device is automatically triggered due to the use of a spring made of shape memory material in its design.

Key words: fuel pipeline, petroleum products, spring made of shape memory material, nitinol, fire

Yeutina Tamara Afanas'evna, doctor of technical sciences, docent, tamara.taiga@yandex.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Kulagina Liudmila Vladimirovna, doctor of technical sciences, docent, klvation@gmail.com, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Marchenkova Svetlana Georgievna, doctor of technical sciences, docent, SMarchenkova@sfu-kras.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Gafurov Marat Misjotovич, postgraduate, gmar2021@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.О. Хубасев, Н.В. Макаев, Н.В. Шевченко

Настоящая научная статья посвящена исследованию применения квадрокоптеров для повышения эффективности производства геодезических работ. В контексте современных технологических достижений и требований к точности геодезических измерений, данное исследование представляет новый подход к оптимизации процессов съемки и обработки пространственных данных. В статье рассматриваются технические характеристики квадрокоптеров, их преимущества по сравнению с традиционными методами, а также методы оптимизации использования беспилотных летательных аппаратов в геодезической практике. Особое внимание уделяется изучению преимуществ этой технологии по сравнению с традиционными методами и разработке способов использования квадрокоптеров для достижения максимальной эффективности и точности геодезических работ. Необходимость интеграции беспилотных летательных аппаратов в геодезическую практику становится все более актуальной, поэтому исследования в этой области могут сыграть важную роль в раскрытии возможностей и решении проблем, связанных с использованием этой инновационной технологии. Расширение объема исследований в этом направлении представляет собой перспективное направление для научного сообщества и промышленных специалистов в сфере геодезии, что способствует более полному освоению и оптимизации данного метода в геодезической практике.

Ключевые слова: геодезические работы, эффективность производства геодезических работ, беспилотные летательные аппараты, дистанционная съемка с воздуха, применение квадрокоптеров в геодезии.

В настоящее время в области геодезии и земельного кадастра наблюдается стремительный технологический прогресс, который внес существенные изменения в методы и средства проведения геодезических работ. Одной из наиболее перспективных инноваций в этой области становится использование квадрокоптеров – беспилотных летательных аппаратов, оборудованных специализированными геодезическими сенсорами.

Применение квадрокоптеров в геодезии обещает революционизировать процессы сбора и обработки геодезической информации, а также повысить общую эффективность производства геодезических работ. Этот подход открывает новые возможности в сфере быстрого и точного получения данных для картографии, создания цифровых моделей местности, анализа динамики изменений в ландшафте, и многих других приложений.

За последнее десятилетие произошел настоящий прорыв в развитии гражданских беспилотных летательных аппаратов: значительно уменьшились размеры и стоимость электронного обеспечения (систем связи, компьютерных систем, приемников спутниковой навигации, микромеханических датчиков для инерциальных навигационных систем, фото- и видеоаппаратуры в видимом и инфракрасном диапазоне), появилось новое поколение двигателей установок и аккумуляторов. Также, появилось большое количество различного программного обеспечения для обработки результатов работы беспилотных систем. Уже сейчас беспилотные технологии по доступности приближаются к уровню повседневных технологий [1].

Результаты дистанционного зондирования с воздуха охватывают практически все области применения традиционных геодезических методов. Например, проектно-изыскательские работы для строительства и реконструкции дорог, зданий и сооружений; межевание земель; кадастровая оценка земельных участков; мониторинг инженерных коммуникаций, линий электропередач и трубопроводов; оценка эффективности использования земельных ресурсов; проектирование сельской и городской застройки с определением зон размещения различных объектов; ортофотопланирование для нужд сельского хозяйства и сельскохозяйственных предприятий: определение объема горной массы, подлежащей добыче на подготовительных, горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях, добываемых на горно-обогатительных комбинатах, проектирование 3D ГИС, охрана объектов и мониторинг территорий в установленных границах, экологический мониторинг, отслеживание событий в режиме реального времени [4, 5].

Основная часть. Рассмотрим исследования и статьи по применению квадрокоптеров в геодезии, которые проводились в России.

С 2008 года в Сибирском федеральном университете ведется разработка полномасштабной беспилотной системы для решения задач дистанционного зондирования Земли, в первую очередь геофизического направления. В настоящее время доведен до опытной эксплуатации БПЛА Delta с максимальной взлетной массой 6 кг. Этот комплекс используется для решения задач аэрофотосъемки [1].

Статья Блищенко Александра Александровича показывает влияние использования беспилотного летательного аппарата на точность съемки и формирование методики использования геодезического квадрокоптера в условиях открытой разработки полезных ископаемых [2].

В статье Ивана Александровича Кноля предложен принцип геодезических измерений, основанный на определении пространственных координат квадрокоптера с роботизированным электронным тахеометром относительно базовой точки и измерении расстояния от квадрокоптера до верхней поверхности стены здания или сооружения с помощью лазерного дальномера. Данный способ выполнения геодезических работ позволяет определить состояние верхней оболочки (крыши), получить в реальном режиме времени пространственные параметры верхней оболочки здания или сооружения, получить оценку точности геодезических измерений. Также предлагается, что внедрение методов геодезического мониторинга должно привести к улучшению значений следующих показателей: время, затраченное на сбор и первичную обработку исходных данных; время, затраченное на информационно-аналитическую деятельность; время, затраченное на формирование отчетной информации для лиц, принимающих решения. (ЛПР) [3].

В статье Чернякова Г.В. и Романкевича А.П. объясняются методы использования беспилотных летательных аппаратов и аэрофотоснимков в инженерно-геодезических изысканиях. Анализируются факторы, влияющие на

точность аэрофотоматериалов. Делается вывод о целесообразности использования беспилотных летательных аппаратов и аэрофотосъемки совместно с наземной съемкой при инженерно-геодезических изысканиях [7].

Использование БПЛА обеспечивает быстрое получение реальных трехмерных моделей искусственных сооружений, что является большим преимуществом для диагностики искусственных сооружений; аэрофотоматериалы, полученные с БПЛА, необходимы для развития геоинформационной системы Государственной компании "АвтоДор". В последние несколько лет эта работа ведется исключительно с помощью БПЛА в силу их доступности, мобильности и качества получаемых данных[8].



Рис. 1. Геодезический квадрокоптер

Повышение эффективности производства геодезических работ с использованием квадрокоптеров зависит от множества факторов. [9-16] Вот несколько ключевых аспектов, которые оказывают влияние на успешное внедрение и использование квадрокоптеров в геодезии.

Успешный учет и оптимизация этих факторов позволят максимально раскрыть потенциал квадрокоптеров в геодезии, обеспечивая высокую эффективность и точность проведения геодезических работ. Понятие комплексного подхода в повышении эффективности производства работ давно получило распространение среди научного сообщества. [17-25]

Проведём детальный анализ отличий между традиционными методами геодезических измерений и методами, основанными на применении квадрокоптеров. Рассматривая параметры, такие как скорость сбора данных, точность измерений, мобильность и затраты, попытаемся выявить преимущества и недостатки использования квадрокоптеров при выполнении геодезических задач.

Отличия между традиционными методами и методами, основанными на применении квадрокоптеров

№	Наименование	Традиционные методы	С использованием квадрокоптеров
1	Скорость и эффективность	Традиционные методы геодезических измерений, в основном, включают в себя работу с теодолитами, нивелирами и другими традиционными геодезическими инструментами. Они обычно требуют аккуратной установки оборудования, процессов нивелирования и подбора точек измерений. Эти шаги занимают значительное время, особенно при работе на больших территориях. Геодезисты часто вынуждены перемещаться по местности, выполняя измерения вручную, что может быть трудоемким и затратным по времени, для получения данных традиционные методы требуют времени на установку и калибровку оборудования, а также на физическое перемещение геодезиста по местности. Это может быть особенно заметно при работе на больших территориях или в условиях сложного рельефа.	Квадрокоптеры предоставляют значительное преимущество в скорости и эффективности. Используя автономные беспилотные летательные аппараты, геодезисты могут охватывать большие площади за короткий промежуток времени. Квадрокоптеры могут выполнять автоматизированный сбор данных, не требуя постоянного присутствия оператора. Это позволяет существенно сократить время выполнения геодезических работ, особенно при выполнении обширных обследований.
2	Точность и разрешение	Точность традиционных методов геодезических измерений зависит от множества факторов, включая квалификацию геодезиста, качество используемого оборудования и правильность выполнения измерений. Хотя традиционные методы могут обеспечивать высокую точность, она может ограничиваться техническими характеристиками инструментов и уровнем опыта оператора. Разрешение данных в традиционных методах также может быть ограничено, особенно при работе на больших расстояниях.	Современные квадрокоптеры и дроны оборудованы высокоточными глобальными системами навигации (GNSS), инерционными системами и камерами высокого разрешения. Это позволяет получать измерения с высокой точностью и детализацией данных. Высокое разрешение камер также способствует более детальной регистрации поверхности местности. Кроме того, использование GNSS обеспечивает точное определение координат, что дополнительно повышает точность измерений.
3	Доступность и мобильность:	Традиционные геодезические методы могут столкнуться с ограничениями в доступности к определенным территориям. Работа с теодолитами и нивелирами может быть затруднительной в труднодоступных местах, таких как высокогорные районы, лесистые участки или места с ограниченной инфраструктурой. Перемещение и установка традиционного оборудования требуют времени и усилий, особенно в условиях с непредсказуемым рельефом.	Квадрокоптеры, благодаря своей маневренности и возможности полета в воздухе, обладают высокой степенью мобильности и доступности. Они могут легко преодолевать препятствия, взлетать и приземляться на труднодоступных участках, исследовать высокие или опасные места. Это делает квадрокоптеры прекрасным выбором для задач, связанных с измерениями в труднодоступных и разнообразных условиях.
4	Затраты:	Затраты на традиционные методы геодезических измерений могут включать в себя значительные расходы на приобретение и обслуживание специализированного оборудования, такого как теодолиты, нивелиры и приемники GNSS. Важными факторами становятся стоимость обучения квалифицированных специалистов и затраты на транспортировку и установку оборудования на месте работ.	Вложения в квадрокоптеры также могут быть заметными, включая стоимость самого беспилотного аппарата, при необходимости дополнительные камеры высокого разрешения, GNSS-приемники и программное обеспечение для обработки данных. Однако, в долгосрочной перспективе, использование квадрокоптеров может снизить общие затраты, уменьшив время, необходимое для выполнения работ, и предоставив более точные и быстрые результаты.

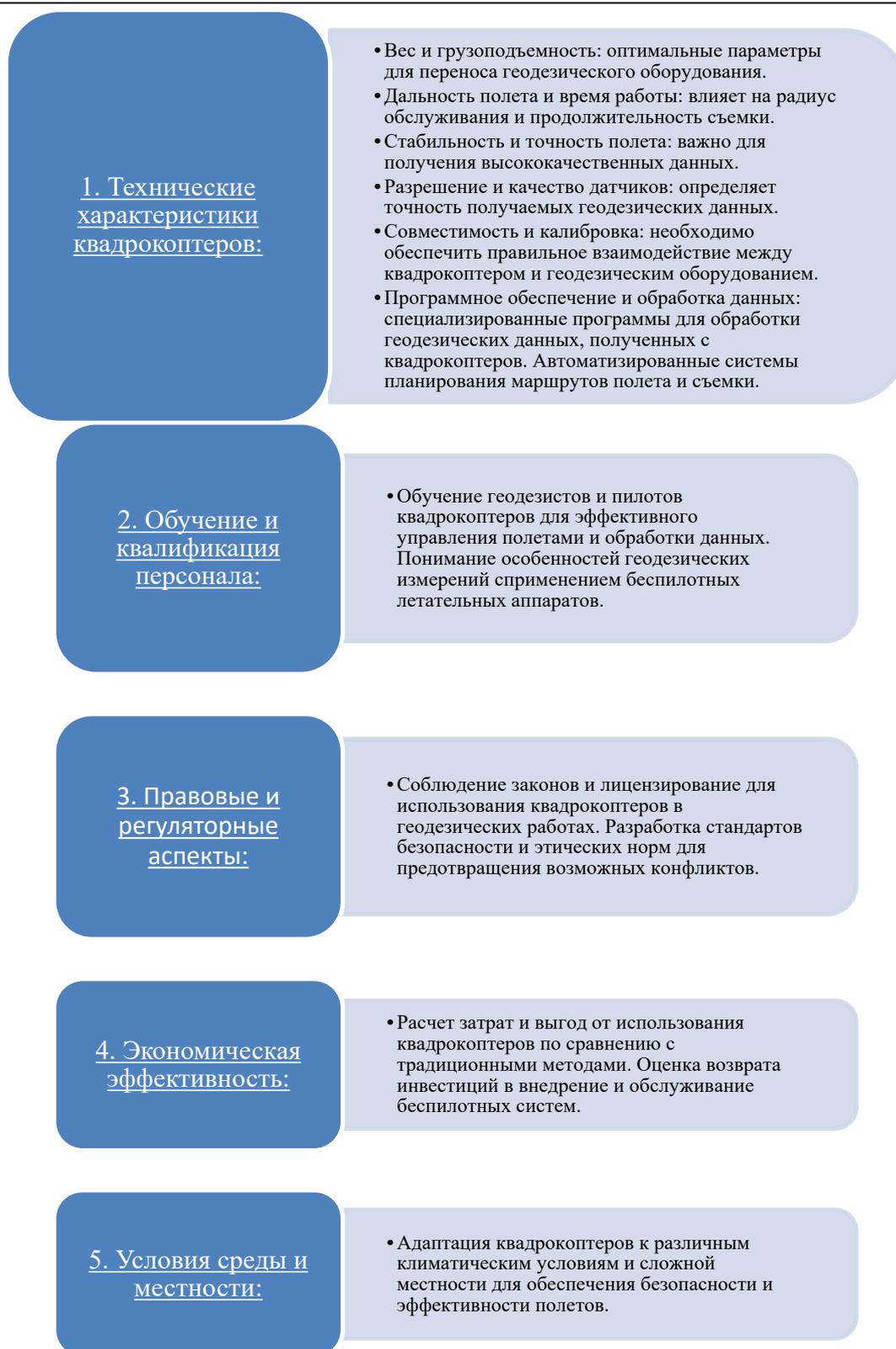


Рис. 2 Аспекты, влияющие на использование квадрокоптеров в геодезии.

Сравнение традиционных методов геодезических измерений и методов с использованием квадрокоптеров подчеркивает, что выбор между этими подходами зависит от конкретных требований проекта, условий местности и целей исследования. Оба метода имеют свои преимущества и ограничения, и правильный выбор зависит от конкретных задач и бюджетных ограничений.

На основе анализа можно выделить преимущества и недостатки использования квадрокоптеров при производстве геодезических работ.



Рис. 3. Ортофотоплан с квадрокоптера, построенный из 64 изображений [9]

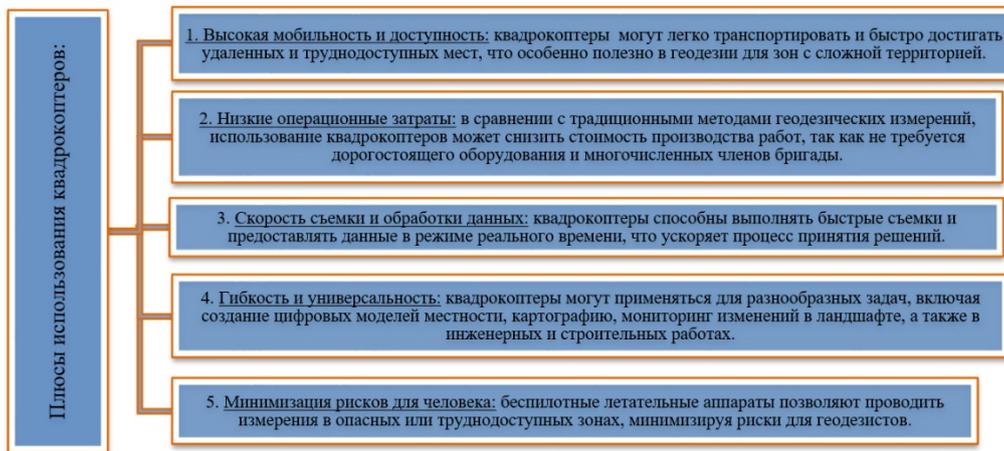


Рис. 4. Плюсы использования квадрокоптеров



Рис. 5. Минусы использования квадрокоптеров.

Выводы. В данной научной статье было рассмотрено повышение эффективности производства геодезических работ с помощью внедрения технологий использования квадрокоптеров. Статья подчеркивает значимость использования беспилотных летательных аппаратов для сбора геодезической информации, что приводит к существенному улучшению точности и скорости выполнения измерений.

На сегодняшний день большой вклад в развитие прикладывают и современные маркшейдеры. [25] Они активно занимаются внедрением БПЛА с промышленной аэрофотосъемкой для геодезии и горного дела. Для заказчиков появляется возможность получить изображение в виде сшитого ортофотоплана, или детальную 3D модель для подсчета объема, или классический топографический план, оформленный согласно ГОСТу в условных обозначениях для сдачи на экспертизу в составе проекта. Примеры работ:



Рис. 6. Ортофотоплан с этапом векторизации

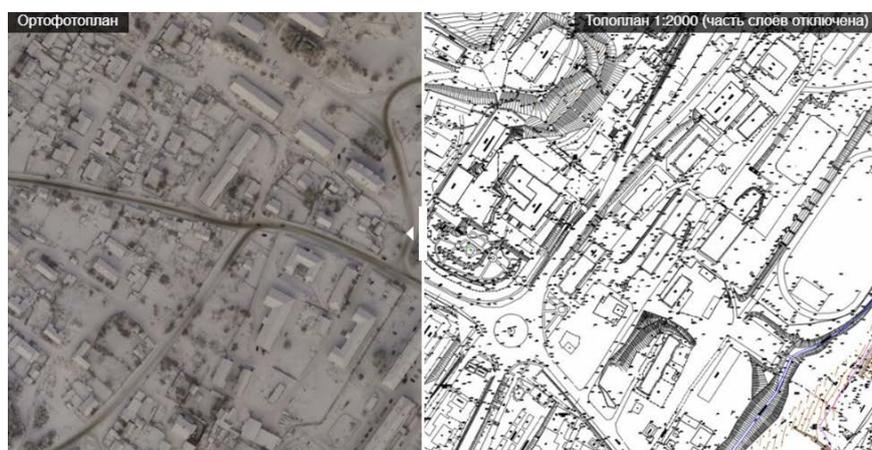


Рис. 7. Ортофотоплан и топоплан в масштабе 1:2000

Для таких работ используются дроны DJI Phantom 4 TEO PPK GNSS. Это первый в мире серийный квадрокоптер с модулем синхронизации. С 2015 года известен под брендом Topodron. Дрон способен обрабатывать до 2250 Га за один световой день, что в более чем в 2 раза быстрее чем у конкурентов. Благодаря встроенному ГНСС приёмнику можно полностью отказаться от наземных знаков для привязки снимков. Также, в совокупности с модулем синхронизации затвора камеры и ГНСС платы появляется возможность получать точные координаты центров снимка (до 2 сантиметров). [25]



Рис. 8. Теодрон DJI Phantom 4 TEO PPK GNSS

С помощью подобных БПЛА и программному комплексу, можно в считанные дни рассчитать объем вывезенного/привезенного материала с карьера или завода с точностью до 5%. [25]

В целом, оптимизация процесса геодезических работ при помощи квадрокоптеров предоставляет индустрии мощный инструмент для улучшения эффективности и качества данных, снижения затрат и расширения возможностей при проведении геодезических измерений. Несмотря на ограничения, современные технологии и методы обучения делают использование квадрокоптеров все более доступным и эффективным для широкого спектра геодезических задач.

Список литературы

1. Эпов Михаил Иванович, Злыгостев Игорь Николаевич. "Применение беспилотных летательных аппаратов в аэрогеофизической разведке", Интерэкспо Гео-Сибирь, вып. 2, № 3, 2012, стр. 22-27.
2. Блищенко А.А., «Формирование и обоснование методики применения геодезического квадрокоптера для маркшейдерских съемок на карьерах», диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования "Санкт-Петербургский горный университет". 2022г.
3. Кноль Иван Александрович, "Экспериментальные исследования точности геодезического мониторинга верхней поверхности инженерных объектов и сооружений" Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), вып. 26, № 2, 2021, стр. 18-27.
4. Погребенная Елена Александровна, «Формирование организационно-экономического механизма планирования и контроля в управлении жилищной недвижимостью»: диссертация на соискание кандидата экономических наук: Пенз. гос. ун-т архитектуры и стр-ва].- Пенза, 2010.- 199 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-8/652
5. Okolelova E. Model of investment appraisal of high-rise construction with account of cost of land resources / E. Okolelova, M. Shibaeva, N. Trukhina // E3S Web of Conferences, Samara, 04–08 сентября 2017 года. Vol. 33. – Samara: EDP Sciences, 2018. – P. 03014. – DOI 10.1051/e3sconf/20183303014. – EDN UPNCNK.
6. Осипенко А.Е., Коукал Я., Панин И.А., Иванчина Л.А., Залесов С.В., "Опыт применения квадрокоптера для создания трехмерной модели лесных насаждений" Леса России и хозяйство в них, № 4 (63), 2017, стр. 16-22.
7. А.П. Романкевич Г.В. Черняков, «Применение беспилотных летательных аппаратов при выполнении инженерно-геодезических изысканий», материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию каф. геодезии и космоаэрокартографии и 85-летию фак. географии и геоинформатики БГУ, Респ. Беларусь, Минск, 20–22 нояб. 2019 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А. П. Романкевич (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2019. – С. 129-132.
8. А. В. Козлов, Д. Д. Фриман, В. В. Еремеев, «Применение беспилотных летательных аппаратов при решении задач управления качеством автомобильных дорог государственной компании «Автодор», ДОРОГИ. Инновации в строительстве №97, Октябрь 2021г., стр. 60-65.
9. Все, что нужно знать о создании ортофотоплана с помощью дронов [Электронный ресурс] URL: <https://skymec.ru/blog/drone-use-cases/geodeziya/sozдание-ortofotoplana-s-pomoshchyu-dronov> (дата обращения: 07.02.2024).
10. Хубаев, А. О. Мировая практика в области модульного строительства / А. О. Хубаев, С. С. Саакян, Н. В. Макаев // Construction and Geotechnics. – 2020. – Т. 11, № 2. – С. 99-108. – DOI 10.15593/2224-9826/2020.2.09
11. Лapidus, А. А. повышение эффективности производства зимнего бетонирования посредством применения программного обеспечения "potencial-cwc" / А. А. Лapidus, А. О. Хубаев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 5. – С. 18-26.
12. Хубаев, А. О. Повышение эффективности возведения монолитных конструкций с применением технологии виртуальной и дополненной реальности / А. О. Хубаев, С. С. Саакян // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 12. – С. 492-495.
13. Khubaev, A. Analysis of physical and mechanical properties of vacuum treated claydite-concrete / A. Khubaev, T. Bidov, A. Rybakova // MATEC Web of Conferences, Rostov-on-Don, 17–21 сентября 2018 года. Vol. 196. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2018. – P. 04071. – DOI 10.1051/matecconf/201819604071.
14. Бидов, Т. Х. Организационно-техническое моделирование комплексной системы производства бетонных работ в зимний период при возведении жилых зданий / Т. Х. Бидов, А. О. Хубаев, А. А. Шабанова // Construction and Geotechnics. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 15-25. – DOI 10.15593/2224-9826/2021.2.02
15. Хубаев, А. О. Использование нанотехнологий при изготовлении бетона / А. О. Хубаев, Т. Х. Бидов // Строительство - формирование среды жизнедеятельности: Электронный ресурс: сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных, Москва, 26–28 апреля 2017 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2017. – С. 902-904.
16. Кайтуков, З. Ф. Повышение качества мелкозернистого бетона / З. Ф. Кайтуков, А. О. Хубаев // Научное обозрение. – 2017. – № 15. – С. 39-43.
17. Хубаев, А. О. Организационно-технологический потенциал использования методов неразрушающего контроля при производстве бетонных работ в зимний период / А. О. Хубаев, Т. Х. Бидов // Наука и бизнес: пути развития. – 2018. – № 4(82). – С. 101-104.
18. Lapidus, A. Organizational and technological solutions justifying use of non-destructive methods of control when building monolithic constructions of civil buildings and structures / A. Lapidus, A. Khubaev, T. Bidov // MATEC Web of Conferences, Moscow, 14–16 ноября 2018 года. Vol. 251. – Moscow: EDP Sciences, 2018. – P. 05014. – DOI 10.1051/matecconf/201825105014.
19. Lapidus, A. The study of the calibration dependences used when testing the concrete strength by nondestructive methods / A. Lapidus, T. Bidov, A. Khubaev // MATEC Web of Conferences, Warsaw, 19–21 августа 2017 года. Vol. 117. – Warsaw: EDP Sciences, 2017. – P. 00094. – DOI 10.1051/matecconf/201711700094.
20. Lapidus, A. Development of a three-tier system of parameters in the formation of the organizational and technological potential of using non-destructive testing methods / A. Lapidus, A. Khubaev, T. Bidov // E3S Web of Conferences: 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019, Tash-

- kent, 18–21 апреля 2019 года. Vol. 97. – Tashkent: EDP Sciences, 2019. – P. 06037. – DOI 10.1051/e3sconf/20199706037.
21. Бидов, Т. Х. Организационно-технологические и управленческие решения использования методов неразрушающего контроля при возведении монолитных конструкций / Т. Х. Бидов // Научное обозрение. – 2017. – № 13. – С. 54-57.
22. Лapidус, А. А. Формирование производственно-технологических модулей, обосновывающих использование методов неразрушающего контроля при возведении монолитных конструкций гражданских зданий / А. А. Лapidус, Т. Х. Бидов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 1(91). – С. 36-39.
23. Фатуллаев, Р. С. Организационно-технологические решения, обосновывающие проведение внеплановых работ по капитальному ремонту многоквартирных домов / Р. С. Фатуллаев, А. А. Лapidус // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 3(102). – С. 304-307. – DOI 10.22227/1997-0935.2017.3.304-307.
24. Фатуллаев, Р. С. Использование современных строительных материалов как фактор, влияющий на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта / Р. С. Фатуллаев, Т. Э. Хаев // Перспективы науки. – 2019. – № 5(116). – С. 224-228.
25. Информационный портал teodolit.ru [Электронный ресурс] URL: <https://teodolit.ru> (дата обращения: 07.02.2024).

Хубаев Алан Олегович, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, alan_khubaev@mail.ru, Россия, Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

Макаев Николай Викторович, заместитель директора по проектированию, N_makay@mail.ru, Россия, Москва, ООО «Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх»,

Шевченко Никита Валентинович, студент, n1kit0sss@yandex.ru, Россия, Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

INCREASE OF EFFICIENCY OF GEODETIC WORKS PRODUCTION WITH APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES.

A.O. Khubaev, N.V. Makaev, N.V. Shevchenko

The present research paper is devoted to the study of quadcopter application for improving the efficiency of geodetic works production. In the context of modern technological achievements and requirements to the accuracy of geodetic measurements, this study presents a new approach to optimising the processes of surveying and spatial data processing. The paper discusses the technical characteristics of quadcopters, their advantages over traditional methods, and methods of optimising the use of drones in surveying practice. The emphasis is on the study of the advantages of this technology in comparison with traditional methods, as well as on the development of a methodology for the use of quadcopters to maximise the efficiency and accuracy of surveying. The need to integrate unmanned aerial vehicles into surveying practice is becoming increasingly important and, consequently, research in this area can play a key role in unlocking the opportunities and solving the problems associated with the use of this innovative technology. Expanding the scope of research in this area represents a promising direction for academia and industry professionals in the field of geodesy, which contributes to a more complete adoption and optimisation of this method in geodetic practice.

Key words: geodetic works, efficiency of geodetic works production, unmanned aerial vehicles, remote sensing from the air, application of quadcopters in geodesy.

Khubaev Alan Olegovich, candidate of technical sciences, docent, leading researcher, alan_khubaev@mail.ru, Russia, Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering,

Makaev Nikolay Viktorovich, deputy director for design, N_makay@mail.ru, Russia, Moscow, LLC «Combine of Innovative Technologies – Monarch»,

Shevchenko Nikita Valentinovich, student, n1kit0sss@yandex.ru, Russia, Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ В РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЕ С КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫМ ОБЪЕКТОМ УПРАВЛЕНИЯ

А.В. Моржов

Предлагается метод, позволяющий оценивать параметрическую чувствительность вынужденных колебаний в релейных системах с кусочно-линейными объектами управления.

Ключевые слова: релейная система, кусочно-линейный объект управления, вынужденные колебания, параметрическая чувствительность.

В релейных системах управления в качестве рабочего часто используется режим вынужденных колебаний. В таких системах частота колебаний определяется частотой вынуждающего сигнала и остается постоянной при изменении параметров объекта управления. С позиции теории к релейным системам, работающим в режиме вынужденных колебаний, относятся широко распространенные в технике системы с симметричной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

Вообще говоря, в релейных системах рассматриваемого класса могут возникать [1] низкочастотные (субгармонические) колебания. Они имеют частоту, кратную частоте вынуждающего сигнала. Однако такие колебания не используются в качестве рабочих в системах управления. Поэтому в статье рассматриваются только периодические движения основной частоты.

На кафедре «Системы автоматического управления» Тульского государственного университета под научным руководством профессора Н.В. Фалдина (1936 – 2019) долгие годы успешно развивалась прикладная теория релейных систем автоматического управления. В ее основу положена универсальная характеристика релейной системы – фазовый годограф. В рамках данной теории к настоящему моменту разработаны эффективные методы, позволяющие выполнять анализ (исследование периодических движений, оценивание их устойчивости по алгебраическому критерию, приближенное исследование режима слежения с помощью линеаризации по полезному сигналу) и синтез релейных систем с линейными и нелинейными объектами управления.

Поскольку действительные значения параметров объекта управления реальной системы практически всегда отличаются от номинальных (расчетных) вследствие влияния различных факторов, указанная теория последние 15 лет активно дополняется методами исследования чувствительности релейных систем. При создании систем автоматического управления весьма важно иметь информацию о чувствительности системы к изменению параметров объекта управления. Функции чувствительности позволяют легко определить, как влияют отклонения параметров на выходные характеристики системы.

Настоящая статья посвящена разработке метода исследования параметрической чувствительности вынужденных периодических движений в релейных системах с кусочно-линейными объектами управления и двухпозиционным релейным элементом. Кусочно-линейные системы являются чрезвычайно распространенным в технике классом нелинейных объектов управления. К кусочно-линейным относятся, например, объекты управления, содержащие различного рода ограничители, а также нелинейности типа люфтов, зон нечувствительности и т.д. В основу разрабатываемого метода положен фазовый годограф релейной системы [2 – 3].

В известной автору литературе по теории чувствительности систем управления (в том числе в [4]) вопросы исследования параметрической чувствительности релейных систем, работающих в режиме вынужденных колебаний, с объектами управления рассматриваемого класса отражения не нашли.

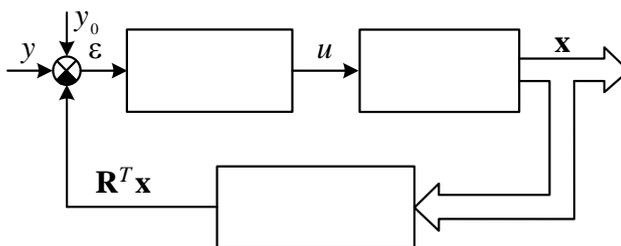


Рис. 1. Функциональная схема релейной системы, работающей в режиме вынужденных колебаний

Рассмотрим релейную систему с двухпозиционным релейным элементом и абстрактным кусочно-линейным объектом управления, работающую в режиме вынужденных колебаний (рис. 1). Здесь: $y_0(t) = Hf_0(t)$ – вынуждающий периодический сигнал периода $2T^0$, причем $\max_t |f_0(t)| = 1$, $H > 0$ – константа, $y(t)$ – входной сигнал; \mathbf{R}^T – вектор-строка коэффициентов обратных связей. Вынуждающей сигнал обладает симметрией, т.е. $f_0(t + T^0) = -f_0(t)$.

Движение кусочно-линейного объекта задается уравнением

$$\frac{dx}{dt} = \mathbf{C}(\alpha)\mathbf{x} + \mathbf{B}(\alpha)u, \tag{1}$$

если $|\mathbf{L}^T \mathbf{x}| < D$, и уравнением

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{C}^*(\alpha)\mathbf{x} + \mathbf{B}^*(\alpha)u, \quad (2)$$

если $|\mathbf{L}^T \mathbf{x}| > D$. Здесь \mathbf{x} – n -мерный вектор состояния, матрицы \mathbf{C} , \mathbf{C}^* , \mathbf{B} и \mathbf{B}^* зависят от некоторого изменяющегося параметра объекта управления α с номинальным значением $\alpha = \alpha_0$ и имеют, соответственно, размерности $n \times n$, $n \times n$, $n \times 1$ и $n \times 1$; \mathbf{L}^T – вектор-строка, имеющая размерность $1 \times n$ и задающая симметричные «переключающие» гиперплоскости $\mathbf{L}^T \mathbf{x} \pm D = 0$ в пространстве состояний системы. Несмотря на то, что в общем случае возможно наличие нескольких таких пар симметричных гиперплоскостей, рассмотренный ниже подход сохранит свою актуальность. Управление $u(t)$ будем определять равенствами

$$u = \Phi(\varepsilon, A, b), \quad \varepsilon = y + y_0 - \mathbf{R}^T \mathbf{x}, \quad (3)$$

где функция Φ задается статической характеристикой двухпозиционного релейного элемента (РЭ), изображенной на рис. 2.

В автономной ($y(t) \equiv 0$) релейной системе (1) – (3) при фиксированном значении параметра α периодическое движение может быть задано одной (любой) точкой с предельного цикла. Будем определять периодическое движение точкой $\mathbf{x}^*(T)$, соответствующей переключению релейного элемента с «минуса» на «плюс». Ограничимся рассмотрением простых (в интервале $0 \leq t < 2T$, где $2T$ – период, управление $u(t)$ изменяет знак только два раза (см. рис. 2)) симметричных ($u(t+T) = -u(t)$, $\mathbf{x}(t+T) = -\mathbf{x}(t)$) периодических движений. Вектор-функция $\mathbf{x}^*(T)$ ($0 \leq T < \infty$) задаёт множество всех возможных периодических движений объекта управления (1), (2) и называется фазовым годографом релейной системы (1) – (3). Таким образом, фазовый годограф характеризует свойства объекта управления. Методы построения фазового годографа подробно описаны в [2, 3].

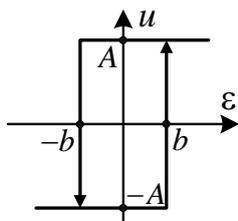


Рис. 2. Статическая характеристика двухпозиционного РЭ

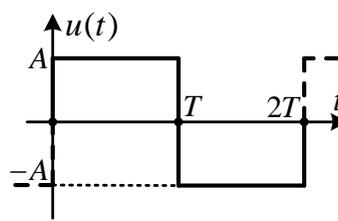


Рис. 3. Симметричный периодический сигнал $u(t)$ с выхода двухпозиционного РЭ

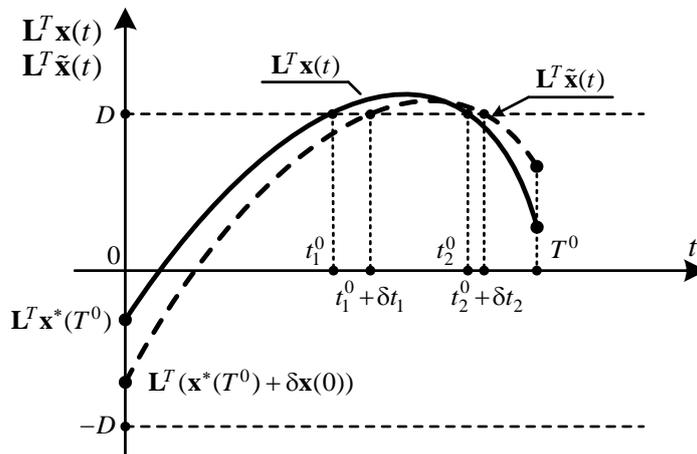


Рис. 4. Качественный вид функций $L^T x(t)$ и $L^T \tilde{x}(t)$

Рассмотрим простое симметричное вынужденное периодическое движение $\mathbf{x}(t)$ с полупериодом $T = T^0$, возникающее в автономной ($y(t) \equiv 0$) релейной системе (1) – (3) при номинальном значении α_0 параметра α и задаваемое точкой $\mathbf{x}^*(T^0)$ фазового годографа $\mathbf{x}^*(T)$, а также близкую к $\mathbf{x}(t)$ возмущенную симметричную периодическую траекторию $\tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{x}(t) + \delta\mathbf{x}(t)$ также с полупериодом $T = T^0$, малое отклонение $\delta\mathbf{x}(t)$ которой обусловлено малым изменением $\delta\alpha$ параметра α относительно номинального значения. Очевидно, периодическое движение $\tilde{\mathbf{x}}(t)$ будет задаваться точкой $\tilde{\mathbf{x}}^*(T^0)$ фазового годографа $\tilde{\mathbf{x}}^*(T)$.

На траекториях $\mathbf{x}(t)$ и $\tilde{\mathbf{x}}(t)$ момент $t=0$ совместим с моментом переключения релейного элемента с «минуса» на «плюс» и ограничимся рассмотрением указанных движений на соответствующих полупериодах. Переключение релейного элемента с «плюса» на «минус» на траекториях $\mathbf{x}(t)$ и $\tilde{\mathbf{x}}(t)$ происходит в момент $t=T^0$. Для определенности будем считать, что функции $\mathbf{L}^T \mathbf{x}(t)$ и $\mathbf{L}^T \tilde{\mathbf{x}}(t)$ имеют качественный вид на полупериоде, изображенный на рис. 4. Таким образом, в моменты времени $t_1=t_1^0$ и $t_2=t_2^0$ происходит переключение уравнений движения на траектории $\mathbf{x}(t)$, а в близкие к ним моменты $t_1=t_1^0+\delta t_1$ и $t_2=t_2^0+\delta t_2$ – на траектории $\tilde{\mathbf{x}}(t)$.

В соответствии с [1] условия существования вынужденного периодического движения при номинальном значении α_0 параметра α задаются соотношениями

$$\begin{cases} y_0(t_0^*) - \mathbf{R}^T \mathbf{x}^*(T^0) = b, \\ \dot{y}_0(t_0^*) - \mathbf{R}^T \mathbf{z}^-(T^0) > 0. \end{cases} \quad (4)$$

В (4) t_0^* – фаза вынуждающего сигнала, которая устанавливает соответствие между функцией $Hf_0(t)$ и периодическим решением $\mathbf{x}(t)$, вектор $\mathbf{z}^-(T)$ задает значение $\dot{\mathbf{x}}(t)$ (его предел слева) в момент переключения релейного элемента с минуса на плюс. Фаза вынуждающего сигнала легко определяется из равенства системы (4), например, графическим способом.

При малом изменении $\delta\alpha$ параметра α фаза вынуждающего сигнала t_0^* также претерпит малое изменение δt^* :

$$t^* = t_0^* + \delta t^*.$$

Установим связь между отклонением $\delta\mathbf{x}(t)$ и изменением $\delta\alpha$.

Возмущенное движение системы $\tilde{\mathbf{x}}(t)$, обусловленное малым отклонением $\delta\alpha$ параметра α , задается уравнениями

$$\frac{d\tilde{\mathbf{x}}}{dt} = \mathbf{C}(\alpha_0 + \delta\alpha)\tilde{\mathbf{x}} + \mathbf{B}(\alpha_0 + \delta\alpha)u, \quad (5)$$

если $|\mathbf{L}^T \tilde{\mathbf{x}}| < D$, и уравнением

$$\frac{d\tilde{\mathbf{x}}}{dt} = \mathbf{C}^*(\alpha_0 + \delta\alpha)\tilde{\mathbf{x}} + \mathbf{B}^*(\alpha_0 + \delta\alpha)u, \quad (6)$$

если $|\mathbf{L}^T \tilde{\mathbf{x}}| > D$. Опуская величины, имеющие порядок малости выше первого относительно $\delta\alpha$, зависимости (5), (6) можно представить в виде:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} + \frac{d\delta\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{C}(\alpha_0)\mathbf{x} + \mathbf{C}(\alpha_0)\delta\mathbf{x} + \frac{d\mathbf{C}(\alpha_0)}{d\alpha}\mathbf{x}\delta\alpha + \mathbf{B}(\alpha_0)u + \frac{d\mathbf{B}(\alpha_0)}{d\alpha}u\delta\alpha, \quad (7)$$

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} + \frac{d\delta\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{C}^*(\alpha_0)\mathbf{x} + \mathbf{C}^*(\alpha_0)\delta\mathbf{x} + \frac{d\mathbf{C}^*(\alpha_0)}{d\alpha}\mathbf{x}\delta\alpha + \mathbf{B}^*(\alpha_0)u + \frac{d\mathbf{B}^*(\alpha_0)}{d\alpha}u\delta\alpha. \quad (8)$$

Далее, вычитая из (7) равенство (1), а из (8) – равенство (2), положив $\alpha = \alpha_0$, получим неоднородные уравнения в вариациях:

$$\frac{d\delta\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{C}(\alpha_0)\delta\mathbf{x} + \left[\frac{d\mathbf{C}(\alpha_0)}{d\alpha}\mathbf{x} + \frac{d\mathbf{B}(\alpha_0)}{d\alpha}u \right] \delta\alpha, \quad (9)$$

$$\frac{d\delta\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{C}^*(\alpha_0)\delta\mathbf{x} + \left[\frac{d\mathbf{C}^*(\alpha_0)}{d\alpha}\mathbf{x} + \frac{d\mathbf{B}^*(\alpha_0)}{d\alpha}u \right] \delta\alpha, \quad (10)$$

которые связывают отклонения $\delta\alpha$ и $\delta\mathbf{x}(t)$. Здесь $\frac{d\mathbf{C}(\alpha_0)}{d\alpha}$, $\frac{d\mathbf{C}^*(\alpha_0)}{d\alpha}$, $\frac{d\mathbf{B}(\alpha_0)}{d\alpha}$, $\frac{d\mathbf{B}^*(\alpha_0)}{d\alpha}$ – матрицы размерностью, соответственно, $n \times n$, $n \times n$, $n \times 1$ и $n \times 1$. Поскольку рассматривается движение на полупериоде, то управление $u(t)$ будем полагать постоянным и равным $+A$. Функция $\mathbf{x}(t)$ определяется как решение системы уравнений (1), (2) при $\alpha = \alpha_0$ на интервале $0 \leq t \leq T^0$ с начальным условием $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}^*(T^0)$.

Покажем, как преобразуется вариация $\delta\mathbf{x}(t)$ в моменты переключения уравнений движения объекта управления.

Траектории $\mathbf{x}(t)$ и $\tilde{\mathbf{x}}(t)$ в моменты $t_1=t_1^0$ и $t_1=t_1^0+\delta t_1$, соответственно, непрерывны, поэтому справедливы соотношения:

$$\mathbf{x}^+(t_1^0) = \mathbf{x}^-(t_1^0), \quad (11)$$

$$\tilde{\mathbf{x}}^+(t_1^0 + \delta t_1) = \tilde{\mathbf{x}}^-(t_1^0 + \delta t_1). \quad (12)$$

Здесь и в дальнейшем индексами «-» обозначаются пределы слева ($\mathbf{x}^-(t_1^0)$, $\dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0)$, $\delta\mathbf{x}^-(t_1^0)$), а индексами «+» – пределы справа ($\mathbf{x}^+(t_1^0)$, $\dot{\mathbf{x}}^+(t_1^0)$, $\delta\mathbf{x}^+(t_1^0)$).

Опуская величины порядка малости выше первого, равенство (12) можно представить в виде:

$$\mathbf{x}^+(t_1^0) + \dot{\mathbf{x}}^+(t_1^0)\delta t_1 + \delta\mathbf{x}^+(t_1^0) = \mathbf{x}^-(t_1^0) + \dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0)\delta t_1 + \delta\mathbf{x}^-(t_1^0), \quad (13)$$

где

$$\dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0) = \mathbf{C}(\alpha_0)\mathbf{x}^-(t_1^0) + \mathbf{B}(\alpha_0)A, \quad \dot{\mathbf{x}}^+(t_1^0) = \mathbf{C}^*(\alpha_0)\mathbf{x}^+(t_1^0) + \mathbf{B}^*(\alpha_0)A.$$

Принимая во внимание (11), из (13) получим:

$$\delta\mathbf{x}^+(t_1^0) = (\dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0) - \dot{\mathbf{x}}^+(t_1^0))\delta t_1 + \delta\mathbf{x}^-(t_1^0). \quad (14)$$

Теперь запишем условие переключения уравнений движения на траектории $\mathbf{x}(t)$ в момент $t_1 = t_1^0$:

$$\mathbf{L}^T \mathbf{x}^-(t_1^0) - D = 0. \quad (15)$$

Для траектории $\tilde{\mathbf{x}}(t)$ аналогичное условие имеет вид:

$$\mathbf{L}^T \tilde{\mathbf{x}}^-(t_1^0 + \delta t_1) - D = 0. \quad (16)$$

Из (16) следует, что

$$\mathbf{L}^T \mathbf{x}^-(t_1^0) + \mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0)\delta t_1 + \mathbf{L}^T \delta\mathbf{x}^-(t_1^0) - D = 0. \quad (17)$$

В последнем равенстве опущены величины, имеющие порядок малости выше первого. Принимая во внимание (15), из (17) найдем вариацию

$$\delta t_1 = -\frac{\mathbf{L}^T \delta\mathbf{x}^-(t_1^0)}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0)}. \quad (18)$$

Далее, подставив (18) в равенство (14), окончательно получим:

$$\delta\mathbf{x}^+(t_1^0) = \delta\mathbf{x}^-(t_1^0) - \frac{(\dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0) - \dot{\mathbf{x}}^+(t_1^0))\mathbf{L}^T \delta\mathbf{x}^-(t_1^0)}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0)}. \quad (19)$$

Перепишем соотношение (19) в виде

$$\delta\mathbf{x}^+(t_1^0) = \mathbf{Q}_1 \delta\mathbf{x}^-(t_1^0), \quad (20)$$

где

$$\mathbf{Q}_1 = \mathbf{I} - \frac{(\dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0) - \dot{\mathbf{x}}^+(t_1^0))\mathbf{L}^T}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0)}.$$

Аналогичным образом нетрудно показать, что

$$\delta\mathbf{x}^+(t_2^0) = \mathbf{Q}_2 \delta\mathbf{x}^-(t_2^0). \quad (21)$$

Здесь

$$\mathbf{Q}_2 = \mathbf{I} - \frac{(\dot{\mathbf{x}}^-(t_2^0) - \dot{\mathbf{x}}^+(t_2^0))\mathbf{L}^T}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_2^0)},$$

причем векторы

$$\dot{\mathbf{x}}^-(t_2^0) = \mathbf{C}^*(\alpha_0)\mathbf{x}^-(t_2^0) + \mathbf{B}^*(\alpha_0)A, \quad \dot{\mathbf{x}}^+(t_2^0) = \mathbf{C}(\alpha_0)\mathbf{x}^+(t_2^0) + \mathbf{B}(\alpha_0)A.$$

Таким образом, матрицы \mathbf{Q}_1 и \mathbf{Q}_2 задают преобразования вариации

$\delta\mathbf{x}(t)$ в моменты $t_1 = t_1^0$ и $t_2 = t_2^0$ соответственно.

Остановимся на определении вариации $\delta\mathbf{x}(T^0)$. Обозначим $\mathbf{V}(t) = e^{\mathbf{C}(\alpha_0)t}$ нормированную фундаментальную матрицу решений однородного уравнения

$$\frac{d\delta\mathbf{x}(t)}{dt} = \mathbf{C}(\alpha_0)\delta\mathbf{x}(t),$$

соответствующего неоднородному уравнению (9), а $\mathbf{r}(t_0, t)$ – решение уравнения (9) на интервале от t_0 до t при нулевых начальных условиях, $\delta\alpha = 1$ и $u(t) = A$. Далее, обозначим $\mathbf{W}(t) = e^{\mathbf{C}^*(\alpha_0)t}$ нормированную фундаментальную матрицу решений однородного уравнения

$$\frac{d\delta\mathbf{x}(t)}{dt} = \mathbf{C}^*(\alpha_0)\delta\mathbf{x}(t),$$

соответствующего неоднородному уравнению (10), а $\mathbf{g}(t_0, t)$ – решение уравнения (10) на интервале от t_0 до t при нулевых начальных условиях, $\delta\alpha = 1$ и $u(t) = A$. Тогда с учетом (20) и (21) справедливы соотношения:

$$\delta\mathbf{x}^-(t_1^0) = \mathbf{V}(t_1^0)\delta\mathbf{x}(0) + \mathbf{r}(0, t_1^0)\delta\alpha, \quad (22)$$

$$\delta\mathbf{x}^-(t_2^0) = \mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0)\delta\mathbf{x}^+(t_1^0) + \mathbf{g}(t_1^0, t_2^0)\delta\alpha = \mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0)\mathbf{Q}_1\delta\mathbf{x}^-(t_1^0) + \mathbf{g}(t_1^0, t_2^0)\delta\alpha, \quad (23)$$

$$\delta \mathbf{x}(T^0) = \mathbf{V}(T^0 - t_2^0) \delta \mathbf{x}^+(t_2^0) + \mathbf{r}(t_2^0, T^0) \delta \alpha = \mathbf{V}(T^0 - t_2^0) \mathbf{Q}_2 \delta \mathbf{x}^-(t_2^0) + \mathbf{r}(t_2^0, T^0) \delta \alpha. \quad (24)$$

Последовательно подставляя друг в друга равенства (22) – (24), окончательно получим:

$$\begin{aligned} \delta \mathbf{x}(T^0) = & \mathbf{V}(T^0 - t_2^0) \mathbf{Q}_2 \mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 \mathbf{V}(t_1^0) \delta \mathbf{x}(0) + \\ & + (\mathbf{V}(T^0 - t_2^0) \mathbf{Q}_2 (\mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 \mathbf{r}(0, t_1^0) + \mathbf{g}(t_1^0, t_2^0)) + \mathbf{r}(t_2^0, T^0)) \delta \alpha = \\ & = \mathbf{Q} \delta \mathbf{x}(0) + \mathbf{P} \delta \alpha, \end{aligned} \quad (25)$$

где

$$\mathbf{Q} = \mathbf{V}(T^0 - t_2^0) \mathbf{Q}_2 \mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 \mathbf{V}(t_1^0), \quad (26)$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{V}(T^0 - t_2^0) \mathbf{Q}_2 (\mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 \mathbf{r}(0, t_1^0) + \mathbf{g}(t_1^0, t_2^0)) + \mathbf{r}(t_2^0, T^0). \quad (27)$$

Теперь определим вариацию фазы вынуждающего сигнала. В соответствии с (4)

$$y_0(t_0^* + \delta t^*) - \mathbf{R}^T [\mathbf{x}^*(T^0) + \delta \mathbf{x}^*(T^0)] = b, \quad (28)$$

здесь $\delta \mathbf{x}^*(T)$ – вариация фазового годографа. Из (7) следует

$$y_0(t_0^*) + \dot{y}_0(t_0^*) \delta t^* - \mathbf{R}^T \mathbf{x}^*(T^0) - \mathbf{R}^T \delta \mathbf{x}^*(T^0) = b. \quad (29)$$

В равенстве (29) опущены величины, имеющие порядок малости выше первого. Принимая во внимание равенство системы (4), получим

$$\delta t^* = \frac{\mathbf{R}^T \delta \mathbf{x}^*(T^0)}{\dot{y}_0(t_0^*)}. \quad (30)$$

Для параметрически возмущенной системы фазовой годограф по определению задается вектором

$$\tilde{\mathbf{x}}^*(T^0) = \mathbf{x}(0) + \delta \mathbf{x}(0).$$

Здесь, как и выше, предполагается, что на периодической траектории $\tilde{\mathbf{x}}(t)$ момент $t = 0$ совмещен с моментом переключения управления с $u = -A$ на $u = A$. Так как $\mathbf{x}(t)$ и $\tilde{\mathbf{x}}(t)$ – симметричные траектории, то

$$\mathbf{x}(T^0) = -\mathbf{x}(0),$$

$$\mathbf{x}(T^0) + \delta \mathbf{x}(T^0) = -\mathbf{x}(0) - \delta \mathbf{x}(0)$$

и, следовательно, с учетом (25)

$$\delta \mathbf{x}(0) = -\delta \mathbf{x}(T^0) = -\mathbf{Q} \delta \mathbf{x}(0) - \mathbf{P} \delta \alpha.$$

Далее,

$$[\mathbf{I} + \mathbf{Q}] \delta \mathbf{x}(0) = -\mathbf{P} \delta \alpha, \quad (31)$$

здесь \mathbf{I} – единичная матрица. Из (31) следует, что

$$\delta \mathbf{x}(0) = -[\mathbf{I} + \mathbf{Q}]^{-1} \mathbf{P} \delta \alpha.$$

Таким образом, вариация фазового годографа

$$\delta \mathbf{x}^*(T^0) = \delta \mathbf{x}(0) = -[\mathbf{I} + \mathbf{Q}]^{-1} \mathbf{P} \delta \alpha = \mathbf{K}_\alpha^* \delta \alpha, \quad (32)$$

где $\mathbf{K}_\alpha^* = -[\mathbf{I} + \mathbf{Q}]^{-1} \mathbf{P}$ – коэффициент чувствительности точки фазового годографа $\mathbf{x}^*(T^0)$.

В соответствии с (30) и (32) коэффициент чувствительности фазы вынуждающего сигнала к изменению параметра α

$$K_\alpha^{t^*} = \frac{d(t^*)}{d\alpha} = -\frac{\mathbf{R}^T [\mathbf{I} + \mathbf{Q}]^{-1} \mathbf{P}}{\dot{y}_0(t_0^*)}. \quad (33)$$

Как уже было отмечено выше, в результате отклонения параметра α от номинального значения изменяется значения моментов переключения уравнений движения системы. Остановимся на определении коэффициентов чувствительности $K_\alpha^{t_1}$ и $K_\alpha^{t_2}$ моментов t_1 и t_2 соответственно.

Начнем с нахождения вариаций δt_1 и δt_2 . Из (18) с учетом (22) получим:

$$\delta t_1 = -\frac{\mathbf{L}^T [\mathbf{V}(t_1^0) \delta \mathbf{x}(0) + \mathbf{r}(0, t_1^0) \delta \alpha]}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0)}. \quad (34)$$

Аналогичным образом нетрудно показать, что

$$\delta t_2 = -\frac{\mathbf{L}^T [\mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 \mathbf{V}(t_1^0) \delta \mathbf{x}(0) + (\mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 \mathbf{r}(0, t_1^0) + \mathbf{g}(t_1^0, t_2^0)) \delta \alpha]}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_2^0)}. \quad (35)$$

Подставляя (32) в соотношения (34) и (35), окончательно запишем:

$$\delta t_1 = -\frac{\mathbf{L}^T [\mathbf{V}(t_1^0) \mathbf{K}_\alpha^* + \mathbf{r}(0, t_1^0)] \delta \alpha}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0)}, \quad (36)$$

$$\delta t_2 = - \frac{\mathbf{L}^T [\mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 (\mathbf{V}(t_1^0) \mathbf{K}_\alpha^* + \mathbf{r}(0, t_1^0)) + \mathbf{g}(t_1^0, t_2^0)] \delta \alpha}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_2^0)} \quad (37)$$

Равенства (36) и (37) целесообразно представить в виде

$$\delta t_1 = K_\alpha^{t_1} \delta \alpha,$$

$$\delta t_2 = K_\alpha^{t_2} \delta \alpha,$$

где

$$K_\alpha^{t_1} = - \frac{\mathbf{L}^T [\mathbf{V}(t_1^0) \mathbf{K}_\alpha^* + \mathbf{r}(0, t_1^0)]}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0)},$$

$$K_\alpha^{t_2} = - \frac{\mathbf{L}^T [\mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 (\mathbf{V}(t_1^0) \mathbf{K}_\alpha^* + \mathbf{r}(0, t_1^0)) + \mathbf{g}(t_1^0, t_2^0)]}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_2^0)}$$

искомые коэффициенты чувствительности моментов времени t_1 и t_2 к изменению параметра α .

В заключение остановимся на определении возмущенной траектории. В соответствии с (22) – (24), (32) отклонение периодической траектории $\delta \mathbf{x}(t) = \tilde{\mathbf{x}}(t) - \mathbf{x}(t)$ задается зависимостью

$$\delta \mathbf{x}(t) = \tilde{\mathbf{K}}_\alpha(t) \delta \alpha,$$

здесь

$$\tilde{\mathbf{K}}_\alpha(t) = \begin{cases} \mathbf{V}(t) \mathbf{K}_\alpha^* + \mathbf{r}(0, t), & \text{если } 0 \leq t < t_1^0; \\ \mathbf{W}(t - t_1^0) \mathbf{Q}_1 (\mathbf{V}(t_1^0) \mathbf{K}_\alpha^* + \mathbf{r}(0, t_1^0)) + \mathbf{g}(t_1^0, t), & \text{если } t_1^0 \leq t < t_2^0; \\ \mathbf{V}(t - t_2^0) \mathbf{Q}_2 (\mathbf{W}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 (\mathbf{V}(t_1^0) \mathbf{K}_\alpha^* + \mathbf{r}(0, t_1^0)) + \mathbf{g}(t_1^0, t_2^0)) + \mathbf{r}(t_2^0, t), & \text{если } t_2^0 \leq t \leq T^0 \end{cases}$$

функция чувствительности периодической траектории $\mathbf{x}(t)$ к изменению параметра α .

Полученные коэффициенты чувствительности $K_\alpha^{t_1^*}$, $K_\alpha^{t_1}$, $K_\alpha^{t_2}$, \mathbf{K}_α^* и функция чувствительности $\tilde{\mathbf{K}}_\alpha(t)$ полностью определяют чувствительность периодического движения в релейной системе (1) – (3). Если найдены указанные показатели чувствительности, то периодическое движение в параметрически возмущенной системе (1) – (3), пренебрегая величинами порядка малости выше первого относительно $\delta \alpha$, можно легко определить с помощью равенств

$$t^* = t_0^* + K_\alpha^{t_1^*} \delta \alpha, \quad t_1 = t_1^0 + K_\alpha^{t_1} \delta \alpha, \quad t_2 = t_2^0 + K_\alpha^{t_2} \delta \alpha,$$

$$\tilde{\mathbf{x}}^*(T^0) = \mathbf{x}^*(T^0) + \mathbf{K}_\alpha^* \delta \alpha, \quad \tilde{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{x}(t) + \tilde{\mathbf{K}}_\alpha(t) \delta \alpha.$$

Выше предполагалось, что функция $\mathbf{L}^T \mathbf{x}(t)$ имеет качественный вид на полупериоде, изображенный на рис. 4, т.е. $|\mathbf{L}^T \mathbf{x}^*(T^0)| < D$. Рассмотрим теперь ситуацию, когда $|\mathbf{L}^T \mathbf{x}^*(T^0)| > D$, а функция $\mathbf{L}^T \mathbf{x}(t)$ имеет качественный вид на полупериоде, представленный на рис. 5.

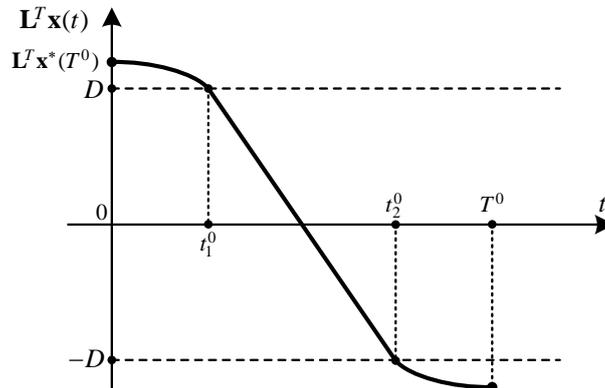


Рис. 5. Качественный вид функции $\mathbf{L}^T \mathbf{x}(t)$ при $|\mathbf{L}^T \mathbf{x}^*(T^0)| > D$

В этом случае все полученные выше результаты сохраняют свою справедливость, если в соответствующих выражениях попарно заменить матрицы \mathbf{C} на \mathbf{C}^* , \mathbf{C}^* на \mathbf{C} , \mathbf{B} на \mathbf{B}^* , \mathbf{B}^* на \mathbf{B} , а также функции $\mathbf{V}(t)$ на $\mathbf{W}(t)$, $\mathbf{W}(t)$ на $\mathbf{V}(t)$, $\mathbf{r}(t_0, t)$ на $\mathbf{g}(t_0, t)$ и $\mathbf{g}(t_0, t)$ на $\mathbf{r}(t_0, t)$. Таким образом, равенства, которыми задаются коэффициенты чув-

ствительности $K_{\alpha}^{t^*}$, $K_{\alpha}^{t_1}$, $K_{\alpha}^{t_2}$, \mathbf{K}_{α}^* и функция чувствительности $\tilde{\mathbf{K}}_{\alpha}(t)$, примут вид:

$$\mathbf{K}_{\alpha}^* = -[\mathbf{I} + \mathbf{Q}]^{-1} \mathbf{P}, \quad (38)$$

$$K_{\alpha}^{t^*} = -\frac{\mathbf{R}^T [\mathbf{I} + \mathbf{Q}]^{-1} \mathbf{P}}{\dot{y}_0(t_0^*)}, \quad (39)$$

$$K_{\alpha}^{t_1} = -\frac{\mathbf{L}^T [\mathbf{W}(t_1^0) \mathbf{K}_{\alpha}^* + \mathbf{g}(0, t_1^0)]}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0)}, \quad (40)$$

$$K_{\alpha}^{t_2} = -\frac{\mathbf{L}^T [\mathbf{V}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 (\mathbf{W}(t_1^0) \mathbf{K}_{\alpha}^* + \mathbf{g}(0, t_1^0)) + \mathbf{r}(t_1^0, t_2^0)]}{\mathbf{L}^T \dot{\mathbf{x}}^-(t_2^0)}, \quad (41)$$

$$\tilde{\mathbf{K}}_{\alpha} = \begin{cases} \mathbf{W}(t) \mathbf{K}_{\alpha}^* + \mathbf{g}(0, t), & \text{если } 0 \leq t < t_1^0; \\ \mathbf{V}(t - t_1^0) \mathbf{Q}_1 (\mathbf{W}(t_1^0) \mathbf{K}_{\alpha}^* + \mathbf{g}(0, t_1^0)) + \mathbf{r}(t_1^0, t), & \text{если } t_1^0 \leq t < t_2^0; \\ \mathbf{W}(t - t_2^0) \mathbf{Q}_2 (\mathbf{V}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 (\mathbf{W}(t_1^0) \mathbf{K}_{\alpha}^* + \mathbf{g}(0, t_1^0)) + \mathbf{r}(t_1^0, t_2^0)) + \mathbf{g}(t_2^0, t), \\ \text{если } t_2^0 \leq t \leq T^0. \end{cases} \quad (42)$$

В соотношениях (38) – (42)

$$\mathbf{Q} = \mathbf{W}(T^0 - t_2^0) \mathbf{Q}_2 \mathbf{V}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 \mathbf{W}(t_1^0),$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{W}(T^0 - t_2^0) \mathbf{Q}_2 (\mathbf{V}(t_2^0 - t_1^0) \mathbf{Q}_1 \mathbf{g}(0, t_1^0) + \mathbf{r}(t_1^0, t_2^0)) + \mathbf{g}(t_2^0, T^0),$$

$$\dot{\mathbf{x}}^-(t_1^0) = \mathbf{C}^*(\alpha_0) \mathbf{x}^-(t_1^0) + \mathbf{B}^*(\alpha_0) \mathbf{A}, \quad \dot{\mathbf{x}}^+(t_1^0) = \mathbf{C}(\alpha_0) \mathbf{x}^+(t_1^0) + \mathbf{B}(\alpha_0) \mathbf{A},$$

$$\dot{\mathbf{x}}^-(t_2^0) = \mathbf{C}(\alpha_0) \mathbf{x}^-(t_2^0) + \mathbf{B}(\alpha_0) \mathbf{A}, \quad \dot{\mathbf{x}}^+(t_2^0) = \mathbf{C}^*(\alpha_0) \mathbf{x}^+(t_2^0) + \mathbf{B}^*(\alpha_0) \mathbf{A},$$

$$\dot{\mathbf{x}}^-(T^0) = -\mathbf{C}^*(\alpha_0) \mathbf{x}^*(T^0) + \mathbf{B}^*(\alpha_0) \mathbf{A}.$$

Таким образом, предложенный в настоящей статье метод позволяет достаточно просто определить чувствительность вынужденных колебаний в релейной системе к изменению параметров объекта управления. Получены равенства, задающие в явном виде показатели чувствительности периодической траектории. С помощью данного метода на этапе синтеза релейной системы становится возможным формировать ограничения на величину чувствительности периодических движений в системе к изменению параметров объекта управления.

Список литературы

1. Фалдин Н.В., Моржов А.В. Анализ вынужденных периодических движений в релейных системах автоматического управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. №1. – С. 2 – 7.
2. Фалдин Н.В., Руднев С.А. Синтез релейных систем методом фазового годографа // Изв. вузов. Приборостроение. 1982. № 7. С. 32 – 36.
3. Фалдин Н.В. Релейные системы автоматического управления // Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления (под. ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2004. С. 573 – 636.
4. Фалдин Н.В., Моржов А.В. Чувствительность вынужденных периодических движений релейной системы к изменению параметров объекта управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 11. С. 723 – 730.

Моржов Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент, morzhov@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

THE METHOD OF SENSITIVITY RESEARCH OF FORCED OSCILLATIONS IN RELAY FEEDBACK SYSTEM WITH PIECEWISE LINEAR CONTROL PLANT

A.V. Morzhov

The method of parametrical sensitivity research of periodic motions in relay systems with piecewise linear plant is offered.

Key words: relay system, piecewise linear control plant, forced oscillations, parametrical sensitivity.

Morzhov Alexander Vladimirovich, candidate of technical sciences, docent, morzhov@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 623.4

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-426-427

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОНСТРУКЦИИ СТВОЛА СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ И НАПРЯЖЕНИЙ С ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ В ЗАДАЧЕ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

А.А. Громов, М.С. Воротилин, Ю.В. Чебурков, А.Н. Павлюченко, А.С. Ишков

Проведено исследование, охватывающее внутреннее баллистическое решение выстрела ствола калибра 7,62-мм. Трехмерный анализ переходного процесса теплопередачи и напряжений (термических/механических) был проведен с использованием теории термомеханической связи. Моделирование распределения температуры в радиальном и осевом направлениях ствола была использована программа ANSYS. Радиальное распределение температуры по толщине стенки цилиндра было подтверждено показаниями температуры, снятыми на внешней поверхности цилиндра с помощью тепловизора «FLIR», что является новым и высокоточным методом по сравнению с наиболее широко используемыми методами измерения с помощью термомпар. Данные о давлении и температуре вдоль ствола использовались при анализе напряжений для получения радиальных, окружных и осевых напряжений.

Ключевые слова: внутренняя баллистика, переходная теплопередача, анализ напряжений, термомеханический анализ, ствол.

Стрелковое оружие постоянно находится в совершенствовании в связи с разработкой новых средств бронезащиты. Значительная часть исследований ствола оружия была в основном сосредоточена на определении внутренних баллистических параметров, таких как давление, температура и распределение напряжений вдоль ствола, скорость пули и конструктивные проблемы, такие как уменьшение веса ствола, вибрации ствола, а также проблемы, связанные с горением, такие как самовоспламенение порохового заряда, износ, эрозия и увеличение срока службы ствола. Изучение внутренней баллистики в стволе оружейной системы является довольно сложным процессом. Кроме того, проведение испытаний при стрельбе и измерений в большинстве случаев является очень опасным и дорогостоящим. Кроме того, прилагаются значительные усилия для калибровки установки с одновременным принятием необходимых мер предосторожности при проведении испытаний.

Нагрев ствола – одна из важнейших проблем в конструкции оружия. Как только начинается сгорание пороха, температура газов в камере и стволе быстро повышается за миллисекунды, что приводит к сложному процессу теплопередачи, который, в свою очередь, вместе с давлением газов приводит к повышению высоких температур и напряжений в стволе. Ствол подвержен ряду серьезных конструктивных проблем и проблем с нагревом, вызванных высокими давлениями и температурами, особенно при использовании нескольких секций. Ствол должен быть спроектирован таким образом, чтобы иметь небольшой вес, но быть устойчивым к высоким давлениям во избежание каких-либо повреждений. Кроме того, ствол должен выдерживать высокие температуры, которые вызывают проблемы с износом и эрозией, сокращающие срок службы ствола. Другим критическим явлением, возникающим в результате перегрева ствола, вызванного высокими температурами при многократных выстрелах, является проблема самовоспламенения. Когда новый патрон досылается в ствол, тепло от ствола с высокими температурами передается к пороховому заряду внутри гильзы. Если температура метательного вещества достигает температуры воспламенения метательного вещества, процесс воспламенения начинается произвольно, и пуля самопроизвольно краснеет, приводит к проблемам с безопасностью и травматизмом. Поэтому очень важно знать, как механические, так и тепловые характеристики ствола в совокупности.

В этом исследовании внутренняя баллистика ствола 7,62-мм была всесторонне исследована с использованием численных и аналитических методов с использованием термомеханического подхода, таким образом, что тепловой процесс, обусловленный сгоранием метательного вещества, сочетался с механической нагрузкой, обусловленной давлением внутри ствола. В этом контексте временное распределение температуры по всему стволу и распределение механических / термических напряжений были рассчитаны в трех измерениях, чтобы увидеть общее влияние термомеханической нагрузки на ствол.

Испытания при стрельбе проводились боеприпасами калибра 7,62-мм. Сначала были измерены максимальное давление в стволе и начальная скорость пули. Затем был использован метод Валье-Гейденрайха для определения переходного распределения давления, скорости пули и положения вдоль ствола. Для получения фундаментальной информации по внутренней баллистике была рассчитана внутренняя температура сгоревших газов с использованием уравнения Ноубла-Абеля. Наконец, после расчета теплопередачи при конвекции с использованием уравнения горения Виелла был проведен анализ теплопередачи с использованием программного обеспечения ANSYS для получения переходных значений внутренней/внешней температуры и распределения напряжений в зависимости от положения пули.

Радиальное распределение температуры по толщине стенки ствола было подтверждено новым высокоточным методом, при котором показания температуры снимались на внешней поверхности ствола с помощью тепловизора «FLIR». Анализ радиальных, окружных и осевых напряжений наряду с эквивалентными напряжениями Мизеса

также был подтвержден результатами аналитического решения. Следовательно, в данном исследовании был применен междисциплинарный подход к анализу теплопередачи и напряжений с использованием термомеханического подхода, охватывающего экспериментальные, численные и аналитические методы.

События, происходящие в стволе, связаны с теорией внутренней баллистики. В результате сжигания пороха, газовые продукты очень быстро перемещаются в камеру сгорания и по истечении короткого времени газов по всей камере, создавая очень высокое давление с относительно высокими температурами. Затем газы толкают пулю вперед до конца ствола с большим ускорением. Вместе с движением газов через ствол происходит передача тепла в ствол. Во-первых, на внутренней поверхности цилиндра происходит конвекционная теплопередача. Затем тепло отводится радиально наружу, и с внешней поверхности тепло передается воздуху путем конвекции и излучения.

Определение конвективной теплопередачи на внутренней поверхности цилиндра очень сложно, и оценить теплопередачу непросто, поскольку процесс горения и теплопередачи происходит в течение миллисекунд. Для расчета теплопередачи внутри цилиндра необходимо найти коэффициент конвекционной теплопередачи. В этом исследовании сначала была рассчитана температура газа внутри цилиндра, а затем с использованием этого значения температуры был определен коэффициент конвективной теплопередачи. Введя все полученные данные в программное обеспечение ANSYS, были получены распределения температуры и напряжений по толщине стенки ствола и вдоль оси ствола.

Метод Валье-Гейденрайха [13] был использован в качестве эффективного способа расчета распределения давления газа и скорости пролетающей в стволе струи. В этом методе в качестве входных данных необходимы масса пули и порохового заряда, диаметр и длина ствола, начальная скорость и максимальное давление в стволе. Затем для расчета распределения давления/скорости вдоль ствола используются соответствующие уравнения и эмпирические таблицы, предложенные методом Валье-Гейденрайха. После получения распределения давления в цилиндре для расчета температуры газа в цилиндре использовалось уравнение Ноубла-Абея. Уравнение состояния записывается в виде

$$P(V - \eta) = m_{\text{газ}}RT_{\text{газ}} \quad (1)$$

В этом уравнении P – среднее давление в стволе, V – общий объем внутри ствола, который изменяется при движении пули, η – общий объем, $m_{\text{газ}}$ – масса газов, $T_{\text{газ}}$ – температура газа и R – газовая постоянная. Если извлечь V , то уравнение состояния выглядит следующим образом: объем (Вт/ м^3), ρ – плотность, t – время, T – распределение температуры и C – удельная (Дж/кг К).

Начальные и граничные условия для теплопередачи задаются в виде,

$$P \left[V_{ch} + V_x - m_c \left(z\eta + \frac{1-z}{\rho} \right) \right] = m_c z R T_{\text{газ}}, \quad (2)$$

где V_{ch} – объем камеры сгорания, V_x – объем, расширяющийся в стволе при движении пули ($V_x = (pD^2/4)x$), m_c – масса заряда, z – процент сгоревшего заряда, ρ – плотность газа и x – пройденное расстояние пульей.

Объем h может быть получен при использовании закрытого сосуда для бомбы. Обычно оно берется как удельный объем (объем/масса) твердого пороха и обычно рассчитывается как $h = (1/\rho)$. Эти допущения допускают алгебраическое решение остальных одновременных уравнений. Для сферических частиц твердого пороха,

$$z = 1 - f^3, \quad (3)$$

$$f = \frac{D-S}{D}, \quad (4)$$

где D – баллистический размер, а S – степень уменьшения баллистического размера.

При изменении температуры в цилиндре плотность газов не будет постоянной и рассчитывается исходя из,

$$\rho = \frac{P}{RT_{\text{газ}}}. \quad (5)$$

Согласно закону о сжжении Вьей,

$$V_{\text{газ}} = \frac{ds}{dt} = \beta p^n, \quad (6)$$

$$\beta = v T_{\text{газ}}, \quad (7)$$

где v и n – константы в зависимости от топлива, которые считаются 0,00053 и 0,73 соответственно [12].

Число Нуссельта вычисляется

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3}, \quad (8)$$

$$Re = \frac{\rho V_{\text{газ}} d}{\mu}, \quad (9)$$

где Re – число Рейнольдса и Pr – число Прандтля, d – внутренний диаметр цилиндра и μ – динамическая вязкость.

Впоследствии, рассчитывается на основе,

$$h_{\text{газ}} = \frac{kNu}{d}. \quad (10)$$

Все значения m , R , Pr , k в приведенных выше уравнениях рассчитываются в соответствии с законом смешения газов. Общее трехмерное переходное уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах с граничными условиями записывается в следующем виде,

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(k \frac{\partial T}{\partial \beta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \ddot{q} = \rho C \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (11)$$

где r , z , β – радиальные, осевые и окружные координаты, k теплопроводность ($\text{Вт/м}^2 \text{ К}$), q – тепловыделение на единицу:

$$T(r, t) = T_{\infty}, \text{ где } t = 0, R_{in} \leq r \leq R_{out}. \quad (12)$$

Для $t > 0$

$$h_{\text{газ}} (T_{\text{газ}} - T_{\text{wall}_{in}}) = -k \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_i},$$

$$h_{\text{воздух}} (T_{\text{wall}_{out}} - T_{\infty}) + \varepsilon \sigma (T_{\text{wall}_{out}}^4 - T_{\text{surr}}^4) = -k \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_o}, \quad (13)$$

где $R_{\text{внутри}}/R_{\text{наружу}}$ – внутренний/внешний радиусы ствола, $T_{\text{газ}}$ – температура газа в стволе, T – температура воздуха вблизи внешней поверхности ствола и T_{surr} – абсолютная температура (К) окружающей поверхности, окружающей поверхность ствола для передачи тепла от излучения.

Предполагая осесимметричные условия, температура в стволе оружия не зависит от окружного направления и изменяется только в радиальном направлении по толщине стенки при любом положении пули вдоль ствола. При определенном положении пули в стволе предполагалось, что распределение температуры находится в устойчивом состоянии, и осевая зависимость также игнорировалась. С учетом этих допущений уравнение (11) сводится к

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \ddot{q} = 0. \quad (14)$$

Решая уравнение (14), градиент температуры в радиальном направлении получается как

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{\ddot{q}}{2k} r + \frac{C_1}{k r}, \quad (15)$$

где C_1 – константа интегрирования. Интегрируя уравнение (15), получаем следующий вид распределения температуры в радиальном направлении:

$$\begin{aligned} r = a \rightarrow T(a) = T_i &= -\frac{\ddot{q}}{4k} a^2 + C_1 \ln a + C_2; \\ r = b \rightarrow T(b) = T_o &= -\frac{\ddot{q}}{4k} b^2 + C_1 \ln b + C_2, \end{aligned} \quad (17)$$

где T_o – температура наружной стенки. Константы C_1 и C_2 определяются как Константы интегрирования C_1 и C_2 в E_q . (16) получены с использованием граничных условий температуры во внутреннем и наружном диаметрах цилиндра.

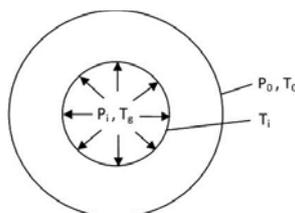


Рис. 1. Граничные условия давление и температура в стенке ствола



Рис. 2. Стандартный испытательный цилиндр диаметром 7,62 мм

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{\ddot{q}}{4k \ln\left(\frac{a}{b}\right)} (a^2 - b^2) + \frac{T_i - T_o}{\ln\left(\frac{a}{b}\right)}, \\ C_2 &= T_i + \frac{\ddot{q}}{4k} a^2 - \left[\frac{\ddot{q}}{4k \ln\left(\frac{a}{b}\right)} (a^2 - b^2) + \frac{T_i - T_o}{\ln\left(\frac{a}{b}\right)} \right] \ln a. \end{aligned} \quad (18)$$

Вставка C_1 и C_2 из уравнения (18) в уравнение (16) дает следующий вид распределения температуры в радиальном

$$T(r) = T_i + \frac{\ddot{q}}{4k} (a^2 - r^2) + \left[\frac{\ddot{q}}{4k \ln\left(\frac{a}{b}\right)} (a^2 - b^2) + \frac{T_i - T_o}{\ln\left(\frac{a}{b}\right)} \right] \ln \frac{r}{a}. \quad (19)$$

Поскольку процесс горения и теплопередачи происходит в течение миллисекунд, можно предположить, что теплопередача в цилиндре происходит адиабатически, что подразумевает, что $q = 0$.

Таблица 1

Свойства ствола и патрона

Масса пули	0,00955	(кг)
Масса пороха	0,00280	(кг)
Длина ствола	0,5	(м)
Диаметр ствола	0,782	(см)
Начальная скорость	852	(м/с)
Максимальное давление	3480	(кг/см ²)
Ускорение свободного падения	9,81	м/с ²

Наконец, радиальное распределение температуры по толщине:

$$T(r) = T_i + \left(\frac{T_i - T_o}{\ln\left(\frac{a}{b}\right)} \right) \ln \frac{r}{a}. \quad (20)$$



Рис. 3. Измерение давления и скорости пули с помощью пьезоэлектрического преобразователя



Рис. 4. Тепловизор и установка стрелкового оружия

Ствол можно рассматривать как толстостенный цилиндр с открытыми концами, который может свободно расширяться в осевом направлении. Стенка цилиндра подвергается воздействию температурного градиента из-за температуры T_i , обусловленной сгоранием пороха в камере, и температуры внешней стенки T_o . Ствол подвергается как механическим, так и термическим нагрузкам, возникающим из-за высокого давления и температур, возникающих при сжигании (см. рис. 1).

Применяя обобщенный закон Гука к толстостенному цилиндру ствола пистолета в диапазоне упругости, радиальные, окружные и осевые деформации могут быть выражены в следующем виде уравнений:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\sigma_r - \nu\sigma_\theta - \nu\sigma_z) + \alpha T, \quad (21)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E}(\sigma_\theta - \nu\sigma_r - \nu\sigma_z) + \alpha T, \quad (21)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}(\sigma_z - \nu\sigma_r - \nu\sigma_\theta) + \alpha T = \varepsilon_0, \quad (23)$$

где e_r, e_θ, e_z – радиальные, окружные и осевые деформации, s_r, s_θ, s_z – радиальные, окружные и осевые напряжения, E – модуль упругости, ν – коэффициент Пуассона и α – коэффициент теплового расширения.

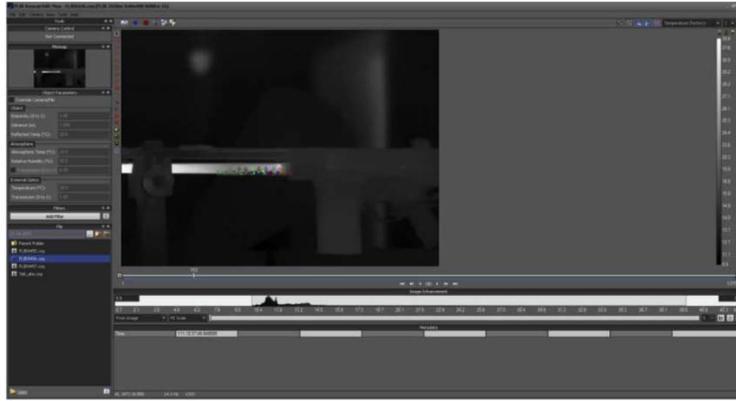


Рис. 5. Интерфейс программы тепловизора

Можно предположить, что нагрузка, обусловленная внутренним давлением, является осесимметричной, и все точки на кольцевом элементе стенки цилиндра смещаются на одинаковую величину только в зависимости от радиуса элемента. Следовательно, поперечные плоскости свободны от напряжения сдвига. В то же время сохраняется радиальная форма цилиндра, что означает отсутствие сдвигов в радиальной и тангенциальной плоскостях. Цилиндр с открытыми концами может свободно расширяться в осевом направлении, и предполагается, что осевая деформация (e_z) постоянна, т.е. плоские участки стенки цилиндра остаются плоскими. Используя уравнение (23), осевое напряжение получается в виде:

$$\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) + E(\varepsilon_0 - \alpha T). \quad (24)$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}[(1 - \nu^2)\sigma_r - \nu(1 + \nu)\sigma_\theta - \nu\varepsilon_0 E + (1 + \nu)E\alpha T], \quad (25)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E}[(1 - \nu^2)\sigma_\theta - \nu(1 + \nu)\sigma_r - \nu\varepsilon_0 E + (1 + \nu)E\alpha T]. \quad (26)$$

Отношение напряжений к равновесию может быть выражено через

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0. \quad (27)$$

Уравнение равновесия (уравнение (27)) удовлетворяется, функция напряжения принимает вид

$$\sigma_r = \frac{\phi}{r}. \quad (28)$$

$$\sigma_\theta = \frac{d\phi}{dr}. \quad (29)$$

Общие деформации – перемещения отношений, где u и P являются радиального перемещения и радиальную координату, соответственно могут быть объединены в совместности уравнение:

$$\frac{\varepsilon_r - \varepsilon_\theta}{r} - \frac{d\varepsilon_\theta}{dr} = 0. \quad (30)$$

Подставляя функции напряжений, заданные уравнениями (28) и (29) в Eqs в уравнения (25) и (26), а затем подставляя уравнения (25) и (26) в уравнение совместности Eq (30) получается уравнение следующего вида:

$$\frac{1}{rE} \left[(1 - \nu^2) \frac{\phi}{r} - \nu(1 + \nu) \frac{d\phi}{dr} - (1 - \nu^2) \frac{d\phi}{dr} + \nu(1 + \nu) \frac{\phi}{r} - r(1 - \nu^2) \frac{d^2\phi}{dr^2} + \right. \\ \left. + \nu(1 + \nu)r \left(\frac{1}{r} \frac{d\phi}{dr} - \frac{\phi}{r^2} \right) - (1 + \nu)E\alpha r \frac{dT}{dr} \right] = 0. \quad (31)$$

Переставляя уравнение (31), первый окончательный вид уравнения совместимости может быть получен в виде:

$$\frac{d^2\phi}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\phi}{dr} - \frac{1}{r^2\phi} = -\frac{E\alpha}{1-\nu} \frac{dT}{dr} \quad (32)$$

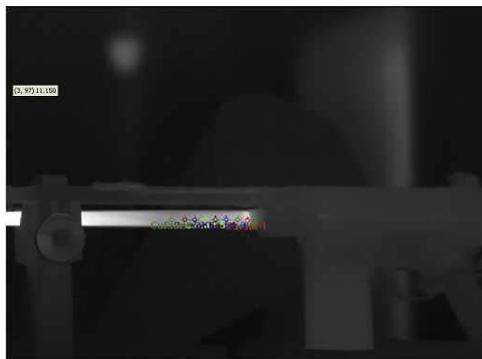


Рис. 6. Измерения температуры в 8 различных точках внешней стенки

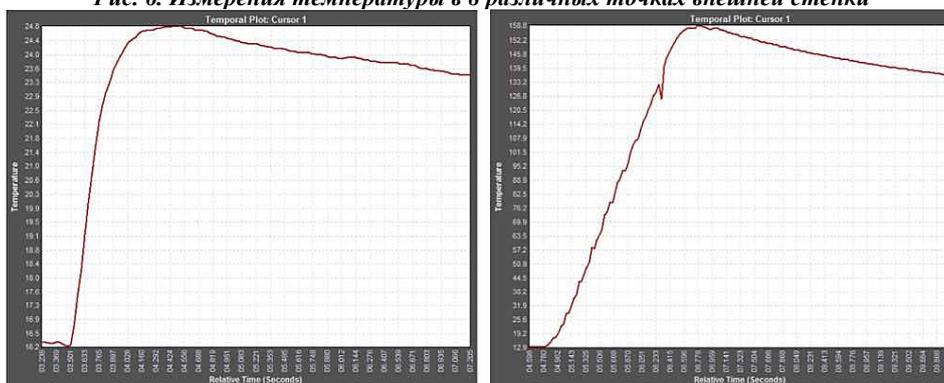


Рис. 7. Температурно-временной график точки-1

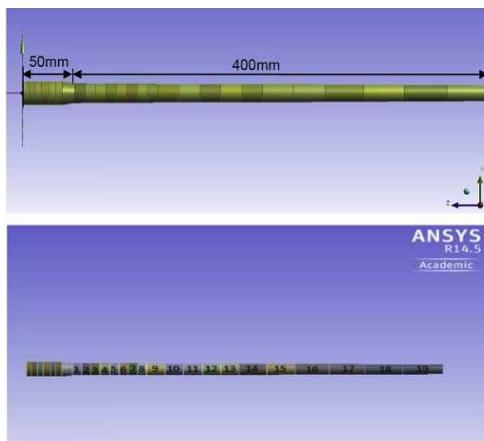


Рис. 8. Моделирование ствола

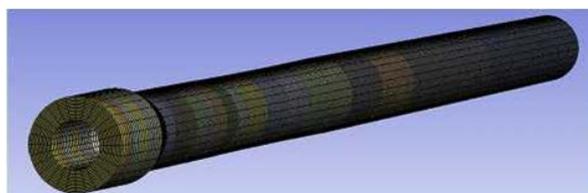


Рис. 9 Зацепление через ствол

Таблица 2

Температура внешней поверхности для различных сеток

Номера радиальных сеток	Наружная температура секции -1 (°C)
6	165,51
10	158,38
12	156,44
20	156,07

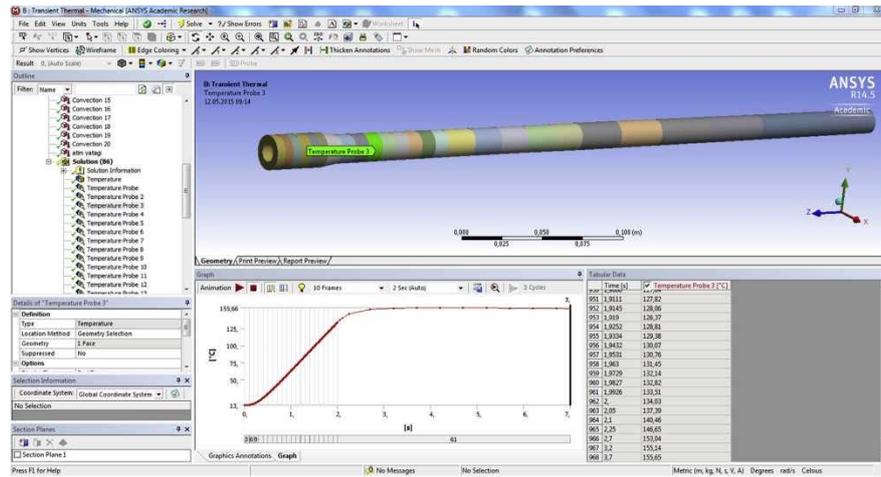


Рис. 10. Интерфейс термического анализа ANSYS

Таблица 3

Сравнение максимальных температур наружных стенок при однократном и многократном 20 выстрелах

Секция	ANSYS Multiple Shot (C)	Тепловизор ANSYS Multiple Shot (°C)	Тепловизор ANSYS Single Shot (C)	Single Shot (°C)
1	156,44	158,8	25,4	24,8
2	156,08	158,5	25,2	24,6
3	155,66	152,1	24,53	24,2
4	154,77	147,1	23,71	23,8
5	152	143,9	23	23,4
6	147	138,2	22,36	23,1
7	142	133,8	21,81	22,7
8	137	129,9	21,3	22,3

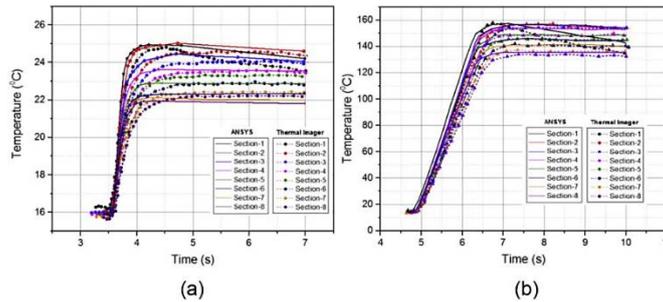


Рис. 11. Температуры внешней поверхности, полученные с помощью решателя ANSYS и тепловизора для: а - одиночного снимка; б - нескольких снимков по 20 штук

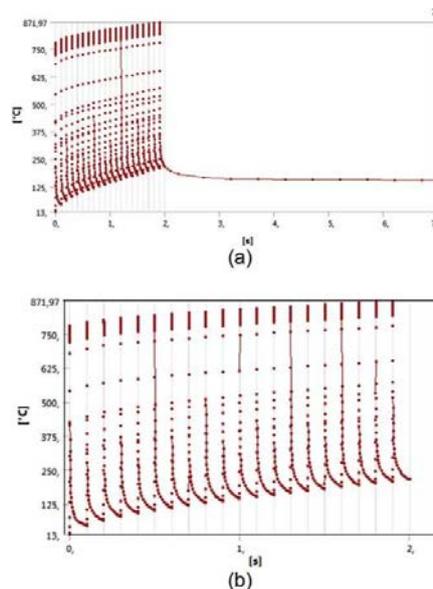


Рис. 12. Распределение внутренней температуры секции-1, соответствующее нескольким 20 снимкам продолжительностью: а - 7 с, б - 2 с

Уравнение (32) можно переписать как

$$\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d(\theta r)}{dr} \right] = \frac{E\alpha}{1-\nu} \frac{dT}{dr}. \quad (33)$$

Решение дифференциального уравнения (2.33) дает

$$\theta = C_1 r + \frac{C_2}{r} - \frac{E\alpha}{r(1-\nu)} \int T r dr. \quad (34)$$

Подставляя уравнение (20) в уравнение (34) и получая интеграл, функция напряжения θ принимает вид:

$$\theta = C_1 r + \frac{C_2}{r} - \frac{E\alpha}{2(1-\nu)} r \left[T_i + \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \frac{a}{b}} \left(\ln \frac{r}{a} - \frac{1}{2} \right) \right) \right]. \quad (35)$$

Подставляя уравнение (35) в уравнение (28), составляющую радиального напряжения можно получить как,

$$\sigma_r = \frac{\theta}{r} = C_1 r + \frac{C_2}{r^2} - \frac{E\alpha}{2(1-\nu)} r \left[T_i + \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \frac{a}{b}} \left(\ln \frac{r}{a} - \frac{1}{2} \right) \right) \right]. \quad (36)$$

Применяя граничные условия к радиальным напряжениям, получаем следующие уравнения, где

$$\sigma_r(r = a) = -P_i = C_1 + \frac{C_2}{a^2} - \frac{E\alpha}{2(1-\nu)} r \left[T_i - \frac{1}{2} \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \frac{a}{b}} \right) \right], \quad (37)$$

$$\sigma_r(r = a) = -P_0 = C_1 + \frac{C_2}{b^2} - \frac{E\alpha}{2(1-\nu)} r \left[T_i + \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \frac{a}{b}} \left(\ln \frac{b}{a} - \frac{1}{2} \right) \right) \right]. \quad (38)$$

Уравнения (37) и (38) решаются одновременно для определения констант C_1 и C_2 для ствола внешнее давление, $P_0 = 0$. Определяя $n = a/b$ и $T - T_0 = DT$, компоненты радиального и окружного напряжений наряду с константами C_1 и C_2 , получаем как:

$$C_1 = \frac{P_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{2(1-\nu)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} - \frac{E\alpha}{4(1-\nu)} \frac{\Delta T}{\ln n}, \quad (39)$$

$$C_2 = \frac{b^2}{n^2 - 1} \left[-P_i + \frac{E\alpha \Delta T}{2(1-\nu)} \right], \quad (40)$$

$$\sigma_r = \frac{P_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{2(1-\nu)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{4(1-\nu)} \frac{\Delta T}{\ln n} + \frac{b^2}{(n^2 - 1)r^2} \left[-P_i + \frac{E\alpha \Delta T}{2(1-\nu)} \right] - \frac{E\alpha}{2(1-\nu)} \left[T_i - \frac{\Delta T}{\ln n} \left(\ln \frac{r}{a} - \frac{1}{2} \right) \right], \quad (41)$$

$$\sigma_\theta = \frac{P_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{2(1-\nu)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{4(1-\nu)} \frac{\Delta T}{\ln n} - \frac{b^2}{(n^2 - 1)r^2} \left[-P_i + \frac{E\alpha \Delta T}{2(1-\nu)} \right] - \frac{E\alpha}{2(1-\nu)} \left[T_i - \frac{\Delta T}{\ln n} \right] + \frac{1}{2(1-\nu)} \frac{E\alpha \Delta T}{\ln n} \left(1 + \ln \frac{r}{a} \right), \quad (42)$$

На свободном конце ствола результирующие усилия должны быть равны нулю, что означает, что:

$$\int_a^b \int_0^{2\pi} \sigma_z d\theta r dr = 0, \quad (43)$$

где $\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) + E(\epsilon_0 - \alpha T)$.

Переставляя уравнение (43), можно получить следующую форму равенства в виде,

$$\int_a^b \left[\frac{2\nu P_i}{n^2 - 1} + \frac{\nu E\alpha}{(1-\nu)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} + \frac{\nu E\alpha}{2(1-\nu)} \frac{\Delta T}{\ln n} - \frac{\nu E\alpha T_i}{(1-\nu)} + \frac{\nu E\alpha \Delta T}{(1-\nu)} \ln \frac{r}{a} + E(\epsilon_0 - \alpha T) \right] r dr = 0. \quad (44)$$

Уравнение (44) решается для получения постоянной осевой деформации ϵ_0 следующим образом:

$$\epsilon_0 = \alpha T_i + \frac{\alpha \Delta T}{2(1-\nu) \ln n} - \frac{\alpha \Delta T a^2}{(1-\nu)(b^2 - a^2)} - \left[\frac{2\nu P_i}{E(n^2 - 1)} + \frac{\nu \alpha}{(1-\nu)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} + \frac{\nu \alpha}{2(1-\nu)} \frac{\Delta T}{\ln n} - \frac{\nu \alpha T_i}{(1-\nu)} \right]. \quad (45)$$

Подставляя уравнение (45) в уравнение (24), составляющая осевого напряжения определяется как:

$$\sigma_z = \nu \left[\frac{2P_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{(1-\nu)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{2(1-\nu)} \frac{\Delta T}{\ln n} - \frac{E\alpha T_i}{(1-\nu)} + \frac{E\alpha \Delta T}{(1-\nu)} \ln \frac{r}{a} \right] + E \left[\alpha T_i + \frac{\alpha \Delta T}{2(1-\nu)} - \frac{\alpha \Delta T a^2}{(1-\nu)(b^2 - a^2)} \right] - \left(\frac{2\nu P_i}{E(n^2 - 1)} + \frac{\nu \alpha}{(1-\nu)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} + \frac{\nu \alpha}{2(1-\nu)} \frac{\Delta T}{\ln n} - \frac{\nu \alpha T_i}{(1-\nu)} \right) - \alpha \left(T_i - \left(\frac{T_i - T_0}{\ln n} \right) \ln \frac{r}{a} \right). \quad (46)$$

Поскольку все точки на кольцевом элементе стенки цилиндра будут смещены на одинаковую величину в зависимости от радиуса, на поперечные плоскости не действуют напряжения сдвига, и напряжения в таких плоскостях являются основными.

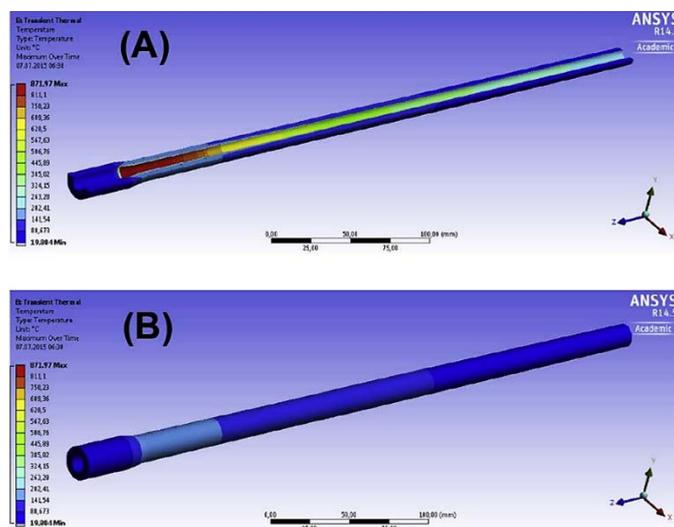


Рис. 13. Распределение внутренней температуры, соответствующее 20 выстрелам, когда пуля с дульной части покидает ствол: А – половинная; В – целая

Кроме того, сохраняется радиальная форма цилиндра, в радиальной и тангенциальной плоскостях не действуют напряжения сдвига, что означает, что напряжения в этих плоскостях являются основными. Напряжения по фон Мизесу, соответствующие напряженному состоянию основных-напряжений, которые представляют собой радиальные, окружные и осевые напряжения (заданные уравнениями (41), (42) и уравнением (46), соответственно) в цилиндре, были получены с помощью следующего уравнения:

$$2\sigma_E^2 = (\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2. \quad (47)$$

Таким образом, проблема внутренней баллистики была всесторонне исследована с использованием экспериментальных, численных и аналитических методов с использованием термомеханического подхода. Для определения переходного распределения давления вдоль ствола был использован метод Валье-Гейденрайха. Вместе с данными о давлении вдоль оси ствола температура газа в стволе была рассчитана с использованием уравнения Ноубла-Абея. Коэффициент конвективной теплопередачи был определен с использованием уравнения горения Вьеля. Термический и напряженный анализ задачи внутренней баллистики был выполнен с использованием численного решения с использованием программного обеспечения *ANSYS solver* и аналитического решения одновременно. Тепловизор *FLIR* позволил проверить результаты решения *ANSYS* по распределению температуры по толщине стенки цилиндра. Эквивалентные максимальные напряжения по фон Мизесу, рассчитанные аналитически вдоль оси ствола, идеально соответствовали конечно-элементному решению *ANSYS* как для случаев одиночного выстрела, так и для множественной стрельбы по 20 патронов. Результаты испытаний показывают, что повышение температуры в стволе является одним из наиболее важных конструктивных критериев, которые необходимо учитывать.

Список литературы

1. Y. Sun, X. Zhang, Transient heat transfer of a hollow cylinder subjected to periodic boundary conditions, *J. Press. Vessel Technol.* 137 (5) (2015).
2. B. Wu, G. Chen, W. Xia, Heat transfer in a 155 mm compound gun barrel with full length integral midwall cooling channels, *Appl. Therm. Eng.* 28 (2008) 881–888.
3. H.L. Lee, Y.C. Yang, W.J. Chang, T.S. Wu, Estimation of heat flux and thermal stresses in multilayer gun barrel with thermal contact resistance, *Appl. Math. Comput.* 209 (2009) 211–221.
4. J.T. South, R.H. Carter, Thermal Analysis of an M256 120-mm Cannon, Army Research Laboratory, 2005. Report ARL-TR-3594.
5. T.C. Chen, C.C. Liu, H.Y. Jang, P.C. Tuan, Inverse estimation of heat flux and temperature in multi-layer gun barrel, *Int. J. Heat Mass Transfer* 50 (2007) 2060–2068.
6. C.W. Nelson, J.R. Ward, Calculation of Heat Transfer to the Gun Barrel Wall, US Army Armament Research and Development Command Ballistic Research Laboratory, 1981. Memorandum Report BRL-MR-03094.
7. M. Akçay, M.A. Yükselen, Unsteady thermal studies of gun barrels during the interior ballistic cycle with non-homogenous gun barrel material thermal characteristics, *J. Therm. Sci. Technol.* 34 (2) (2014) 75–81.
8. A. Mishra, A. Hameed, B. Lawton, Transient thermal analyses of midwall cooling and external cooling methods for a gun barrel, *J. Heat Transfer* 132 (2010).
9. H. Is, ik, Numerical Simulation of Compressible Flow Around an Airfoil (Ph.D. Thesis), Institute of Science and Technology, Gazi University, 2010.
10. P.J. Conroy, Gun Tube Heating, U.S. Army Laboratory Command Ballistic Research Laboratory, 1991. Technical Report BRL-TR-3300.
11. N. Gerber, M.L. Bundy, Heating of a Tank Gun Barrel: Numerical Study, U.S. Army Laboratory Command Ballistic Research Laboratory, 1991. Memorandum Report BRL-MR-3932.
12. E. Degirmenci, M.H. Dirikolu, A thermochemical approach for the determination of convection heat transfer coefficients in a gun barrel, *Appl. Therm. Eng.* 37 (2012) 275–279.
13. P.O. Cronemberger, E.P.L. Júnior, J.A.M. Gois, A.B. Caldeira, Theoretical and experimental study of the interior ballistics of a rifle 7.62, *Eng. Termica (Therm. Eng.)* 13 (2) (2014) 20–27.
14. R.D. Hill, J.M. Conner, Transient heat transfer model of machine gun, *Mater. Manuf. Process.* 27 (2012) 840–845.

Громов Алексей Александрович, курсовой офицер – преподаватель (соискатель), darkzgrom@gmail.com, Россия, Пенза, филиала ВА МТО (г. Пенза),

Воротилин Михаил Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, проректор ТулГУ, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Чебурков Юрий Викторович, старший преподаватель, cheburkov@gmail.com, Россия, Пенза, филиала ВА МТО (г. Пенза),

Павлюченко Алина Николаевна, младший научный сотрудник, alo.alina@bk.ru, Россия, Москва, 27 ЦНИИ МО РФ,

Ишков Антон Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, доцент, asihkov@mail.ru, Россия, Пенза, Пензенский государственный университет

BARREL DESIGN EVALUATION MODEL SMALL ARMS TAKING INTO ACCOUNT TEMPERATURE AND STRESSES WITH THERMOMECHANICAL COUPLING IN THE PROBLEM OF INTERNAL BALLISTICS

A.A. Gromov, M.S. Vorotilin, Yu.V. Cheburkov, A.N. Pavlyuchenko, A.S. Ishkov

A study has been conducted covering the internal ballistic solution of a 7.62 mm barrel shot. A three-dimensional analysis of the transient heat transfer process and stresses (thermal/mechanical) was carried out using the theory of thermo-mechanical coupling. The ANSYS program was used to simulate the temperature distribution in the radial and axial directions of the barrel. The radial temperature distribution over the thickness of the cylinder wall was confirmed by temperature readings taken on the outer surface of the cylinder using the FLIR thermal imager, which is a new and highly accurate method compared to the most widely used measurement methods using thermocouples. Pressure and temperature data along the barrel were used in stress analysis to obtain radial, circumferential, and axial stresses.

Key words: internal ballistics, transient heat transfer, stress analysis, thermomechanical analysis, barrel.

Gromov Alexey Alexandrovich, course officer – teacher (applicant), darkzgrom@gmail.com, Russia, Penza, Branch of the VA MTO (Penza),

Vorotilin Mikhail Sergeevich, doctor of technical sciences, professor, vice-rector of TulSU, Russia, Tula, Tula State University,

Cheburkov Yuri Viktorovich, senior lecturer, chebyrkov@gmail.com, Russia, Penza, Branch of the VA MTO (Penza),

Pavlyuchenko Alina Nikolaevna, junior researcher, alo.alina@bk.ru, Russia, Moscow, 27 Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation,

Ishkov Anton Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, asihkov@mail.ru, Russia, Penza, Penza State University

УДК 65.07 67.03

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-434-435

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

В.Б. Масыгин, С.Б. Скобелев, Д.А. Ерофеев, Е.А. Ерофеев

В статье представлена технология получения трех видов матричных композитных материалов на основе плёнкообразующих лакокрасочных покрытий, относящихся по своему внутреннему составу к полимерным композициям, которые при конечном получении являются полимерными композитными материалами (ПКМ). Приведены результаты статических испытаний на предмет пластической деформации полученных материалов: сжатие, растяжение, а также результаты измерений твердости по Шору, измерение низкомолекулярных полимеров, методом отскока. Полученные материалы не меняют своих механических свойств под воздействием окружающих факторов, таких как температурная среда и относительная влажность воздуха.

Ключевые слова: композитные материалы, армирование стекловолокном, лакокрасочные покрытия, полимерная матрица, испытания на разрыв, твердость по Шору.

В настоящее время композитные материалы различных видов широко используются наряду с традиционно применяемыми конструкционными материалами в виде различных металлов и их сплавов. Так как состав композитных материалов многообразен, то их возможная область применения гораздо шире по сравнению с металлами. На данный момент во всём мире использование композитных материалов различных видов и групп, значительно расширяется, как в отраслях машиностроения, так и в других областях. При этом повышается качество изделий с использованием композитных материалов, а также продлеваются сроки эксплуатации [1].

Композитные материалы по своему составу формируются методом сочетания исходных материалов или фонового материала (матрица), а также из материалов, являющихся дополнительным наполнением в виде армирующего состава. В результате чего, к таким материалам предъявляются определённые требования при их эксплуатации, к которым относят обладание не просто необходимыми рядовыми свойствами, а свойствами, определяющими материал с повышенными характеристиками – сверх свойствами. Повышенная твёрдость, прочность (по отношению со стандартной, заданной твердостью и прочностью) до критериев сверх твёрдости и сверх прочности, а также высокая гибкость и стойкость характерны для подобных материалов. При этом значительно повышается эксплуатационный ресурс при их использовании [2]. В настоящее время применение таких материалов нашло себя практически во всех отраслях – как в бытовом применении, так и в промышленности: машиностроительном производстве, авто- судостроении, аэрокосмической, нефтяной, химической, деревообрабатывающей, энергетической, медицинской отраслях [3].

Одними из видов композитных материалов являются композитные материалы с неметаллической матрицей. В подобных материалах матрица может состоять из полимеров или их составляющих, из керамической основы, а также в виде различных углеродных материалов (материал твёрдой консистенции с графитоподобной структурой) [4].

К полимерным композитным материалам, относят те «композиты», неотъемлемой составляющей частью которых является полимер, как в виде фонового материала (рис.1, а), так и в виде армирующего наполнения (рис.1, б), в частности волокон или различных частиц, независимо от своего состояния и свойств (твёрдое, пластичное, кристаллическое, органическое в виде стекла).



Рис. 1. Композитные материалы на основе полимеров: а – полимер в виде фоновых материалов; б – полимер в виде армирующего наполнения

Одним из преимуществ полимерных композитных материалов является то, что при их изготовлении, можно заранее регулировать необходимые эксплуатационные свойства. При подборе армирующего наполнителя, в частности волокон, допускается комбинация органики с углеродными компонентами, борное волокно в смеси со стеклянными волокнами, что, в первую очередь, повышает упругость и прочность. В качестве фоновых материалов матрицы практически во всех ПКМ, используются различные эпоксидные, полиамидные и формальдегидные смолы с применением отвердителя, являясь при этом в своем объемном сочетании составом двухкомпонентным [5].

Целью представленного исследования является разработка технологии получения трех видов матричных композитных материалов:

1. Материал без армирования.
2. Материал, армированный древесным наполнителем.
3. Материал, армированный полимерным наполнителем – стекловолокном.

Также необходимо провести анализ физико-механических свойств фоновых составляющих – матрицы, как основного материала.

Исследуемые материалы, в частности, матрица (рис. 1, а), представляют собой многокомпонентную композицию исходных компонентов, то есть сочетание нитроцеллюлозных, полиуретановых и нитроуретановых составляющих.

Исследуемый композитный материал, изготавливался методом искусственного выращивания путём последовательного нанесения (наращивания) слоёв данных компонентов в виде грунтов, лаков и нитроцеллюлозных материалов (рис. 1, а). Применение данных компонентов объясняется тем, что они способны противостоять разрушительному действию химически активных веществ, устойчивы к воздействию различных масляных и жировых соединений, кислот, растворов щелочей, солей, а также в готовом виде материал (покрытие) способен сопротивляться при прямом контакте с органическими растворителями, материал коррозионноустойчив и устойчив к абразивному износу [6]. Компоненты уретановых групп, не склонны к влиянию на них ультрафиолетового воздействия, что является одним из основных положительных факторов при их использовании, а также обладают высокой скоростью физического высыхания.

Для получения исследуемых композитных материалов использовались следующие «плёнкообразующие» покрытия:

1. Полиуретановые (ПУ) тиксотропные материалы – универсальные грунты с различной цветовой гаммой. Основа преимущественно светлого оттенка. При поверхностном наложении материал обладает высокими адгезионными свойствами:

- повышенная высыхаемость;
- незначительная усадка поверхностного слоя;
- сухой остаток 45 – 70%;
- метод нанесения – распыление;

Рецептура: Основа 100%. Отвердитель С20-40%, С23-50%, С30-50%, С80-50%. Разбавитель S50 – 20-40%.

2. Полиуретановые колорированные эмали, которые после нанесения материала на поверхность обладают следующими свойствами:

- высокая укрывистая способность;
- повышенные адгезионные свойства;
- повышенная высыхаемость;
- сухой остаток 60 – 65%;
- метод нанесения – распыление.

Рецептура: Основа 100%. Отвердитель С20-50%, (эмаль матовая), С200 – 50-100%, (эмаль глянцевая). Разбавитель S50 – 20-30% (эмаль матовая), S80,100 – 30-40% (эмаль глянцевая).

3. Полиуретановые (ПУ) и нитроуретановые (НУ) лаки – прозрачные, колорированные. Такое покрытие применяется при нанесении на поверхность, находящуюся под определёнными углами. Обладают следующими свойствами:

- тиксотропия – способность изменять вязкость при нанесении;
- повышенная высыхаемость;
- значительная укрывистость, растекание;
- повышенная адгезия;
- межслойное прилипание;
- химико-физическая устойчивость по отношению к внешнему воздействию на покрытие;
- сухой остаток 37 – 43%;

- метод нанесения – распыление.

Рецептура: Основа 100%. Отвердитель С20,80 – 50%, (лак/грунт), С60 – 50%, (лак для столешниц), С20,50 – 50%, (лак тиксотропный). Разбавитель S50,80 – 20-30% (для всех видов лака) [7].

Получение опытных образцов осуществлялось путем послойного наложения лакокрасочных покрытий методом распыления. Для этого были изготовлены формовочные ванны длиной 850 мм, шириной 70 мм, высотой 60 мм (рис. 2, а).

Наполнение форм производилось следующим образом: смесь плёнкообразующего материала жидкой консистенции подавалась из распределителя в прибор для окрашивания (краскопульт), и под воздействием высокого давления сжатого воздуха из отверстия воздушной головки (сопла) смесь выходила с большой скоростью. В результате лакокрасочный материал разбивался на мелкие частицы в виде капель, образуя при этом окрасочный факел, движущийся по направлению к окрашиваемой поверхности.

В результате равномерного распыления и укрывистой способности, лакокрасочный материал под собственным весом и высоким давлением сжатого воздуха оседал на поверхности формовочного лотка, образуя при этом многослойное плёночное покрытие (рис. 2, б). Лакокрасочный материал, послойно накладывался в лоток, толщина слоя составляла от 30 до 200 мкм (0,030 – 0,2мм) и выше, в зависимости от вязкости и рецептурной схемы используемого материала. После каждого последующего наложенного слоя производилась сушка естественным способом от 1 до 3 часов в продуваемой камере при температуре от 15 до 25°С.

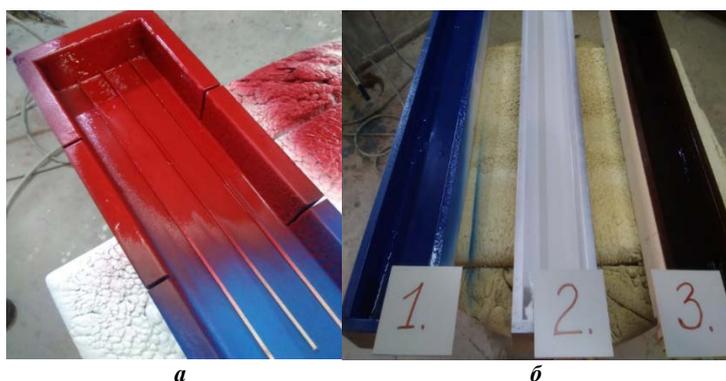


Рис. 2. Получение опытных образцов: а – формовочные ванны; б – наполнение форм

Для снижения времени сушки и температуры в лакокрасочной камере, где происходит последующие отверждение, в рецептурную схему акрилового лака были внесены следующие изменения:

1. замена компонента «С20» отвердителя на более агрессивный отвердитель «FCM072» (для ускоренной сушки), что позволило при температуре в 3°С, сократить время на отлип до 30 минут.
2. замена компонента S30 (разбавитель), на S80 сократили время сушки на 20 минут.

С помощью такой схемы получаем покрытие с низким сухим остатком, но с повышенной твердостью и с высокой адгезией.

Чередование лакокрасочных материалов, происходило спонтанным методом, не придерживаясь никаких условий и ограничений, используя при

этом всю возможную палитру цветов и оттенков лакокрасочного материала. В процессе наложения материала для улучшения межслойной адгезии перед нанесением нового слоя материала предыдущий слой подвергался зачистке (шлифованию), независимо от вида, цвета и толщины наносимого слоя.

Армирование древесным материалом в виде стержней (рис. 3) осуществлялось следующим образом: армирующий наполнитель, укладывался в предварительно заполненную форму лакокрасочным материалом на глубину от 10 мм на одинаково равном расстоянии друг от друга. Затем происходил процесс заполнения методом распыления соответствующих компонентов. Заполнение происходило до полного поглощения армирующих элементов и выравнивания покрытия, фоновго материала.



Рис. 3. Образец, армированный древесным материалом

Армирование стекловолокном (полимерной сеткой) идентично предыдущему методу, с той разницей, что полимерная сетка укладывалась лентами определённой длины с целью улучшения качества проникновения фоновго материала матрицы, создавая общий монолит. Расположение наполнителя периодически изменялось в продольном и поперечном направлениях до полного заполнения предыдущего слоя полимерной сетки.

На рис. 4 показан способ укладки армирующего материала на свеженанесённую поверхность. Акриловый материал наносится на заранее за матированную поверхность, причем слой материала может достигать до 5мм в толщину. После укладки материала допускается неполная сушка и повторение процедуры в два-три этапа, после чего следует окончательная сушка.

После заполнения формы и сушки полученные образцы извлекались с помощью распила на форматно-раскромочном станке модели TECNOMAX 315WS.

Полученные материалы представляют собой цельную (сплошную) монолитную конструкцию, не имеющую поверхностных дефектов, влияющих на внутреннюю структуру материала (трещины, усадочные раковины, разрывы).

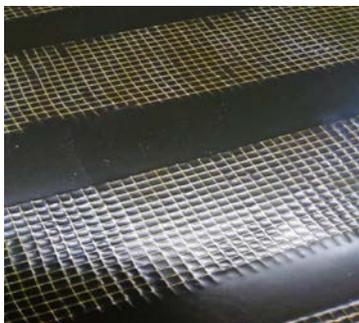


Рис. 4. Образец, армированный полимерной сеткой

Конструкция представляет неразъёмное, армированное послойное соединение (сочетание) лакокрасочных компонентов, с периодичным чередованием, создавая при этом определённую цветовую гамму. В ходе визуального осмотра установлено, что структура представленных образцов материалов не зависит ни от относительной влажности воздуха, ни от температурного режима. Полученные материалы не меняют своих механических свойств под воздействием окружающих факторов, таких как температурная среда и относительная влажность воздуха (рис. 5).



Рис. 5. Полученные образцы материалов

Поскольку в состав образцов входят нитроцеллюлозные, полиуретановые и нитро уретановых составляющие, т.е. они представляют собой многокомпонентную структуру на основе полимеров, то их можно представить, как материалы на основе полимерной матрицы [8].

В исследовании проводилось определение твердости полученных образцов по Шору. Твердость по Шору определяется для низкомолекулярных материалов, отвечающих определённым свойствам. В частности, твёрдостью по Шору измеряются полимеры, пластмассы повышенной твердости, мягкие пластмассы, эластомеры, каучуки, резина, силиконовые изделия ПВХ и другие материалы, относящиеся к ПКМ.

Измерения твёрдости полученных материалов проводились портативным твердомером по Шору с ручным нагружением на корпус прибора. Условия проведения измерений соответствовали ГОСТ 12423 (ISO 291): измерения проводились при температурном диапазоне 21°C – 25°C, и предварительной выдержке прибора до 1 часа, относительной влажности воздуха 50%, а также при полном высыхании материала, соблюдая при этом все необходимые условия и требования. Исследуемые образцы извлекались из формы после полного высыхания (время сушки составляло от 48 до 72 часов). Измерения проводились по шести различным точкам на поверхности материала (рис. 6, а – е).

Поверхности в местах контакта образцов с дюрометром для обеспечения точности снимаемых показаний должны быть ровными и гладкими. Толщина материала в зоне проведения измерений составляла 50 мм при неразъёмной послойной структуре, из чего следует, что исследуемый материал являлся цельным, монолитным образцом.

Расстояние между ближайшими точками измерения (контакта) должно быть не менее 6 мм друг от друга, для пористых материалов не менее 15 мм. Соответственно расстояние от края поверхности испытуемого образца до точки контакта должно быть не менее 12 мм.

Анализ результатов измерений:

Точки 1 и 4 (рис. 6, а, з) – Показания: А/15:97. Характеризуются как материал высокой твёрдости.

Точки 3, 5, 6. (рис. 6, в, д, е) – Показания: А/15:98. Также характеризуются как материал высокой твёрдости. Высокая твердость достигается в виду полного отсутствия внутренних дефектов, таких как воздушные поры.

Точка 2. (рис. 6, б) – Показания: А/15:100. Характеризуется как материал повышенной твёрдости, достигая при этом предельные значения.

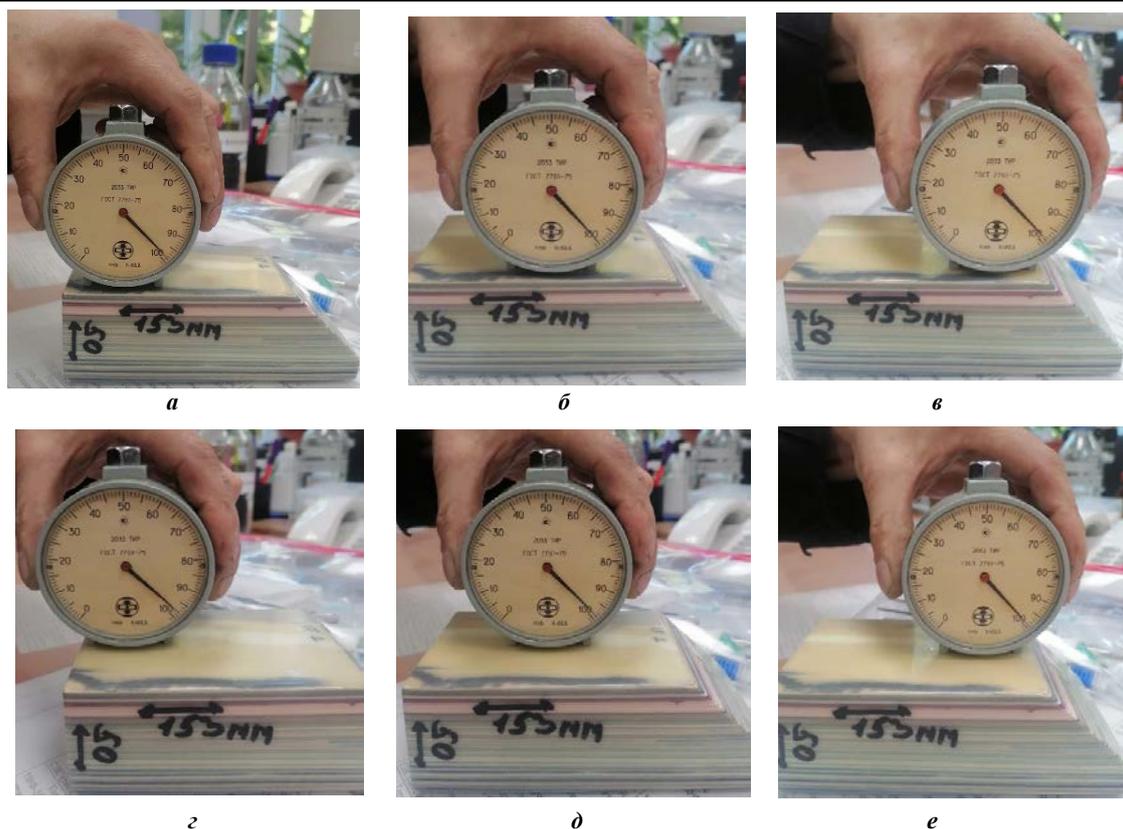


Рис. 6. Определение твердости образцов по Шору: а – е – участки для измерений на поверхности образцов

Таким образом, можно сделать вывод, что полученные материалы обладают достаточно высокой твердостью среди таких материалов как полимеры, пластмассы. Для примера следует отметить, что твердость эбонита – А/100, твердых колёс скейтборда – А/98, мягких колёс скейтборда – А/75.

Затем проводились измерения процентного содержания влаги в образце с помощью игольчатого портативного влагомера «Gann Hydromette Compact». Проведённые измерения показали процентное содержание влажности в измеряемом образце в пределах 0,2%, что является допустимым. По мере дальнейшего полного высыхания (отстаивания) материала, процентное содержания влаги сводится к минимуму, до нулевого предела.

Также были проведены испытания на разрыв (растяжение), для чего использовалась машина разрывная «ЗИМ» Р-20. Для испытания на разрыв были изготовлены три образца, размеры которых максимально приближены к требуемым стандартам. Образцы, закреплялись поочередно в разрывную машину с соблюдением всех технических требований так, чтобы прикладываемая растягивающая нагрузка по вектору совпадала с осью испытываемых образцов. Растяжение материала происходило с одной постоянной скоростью до полного разрыва, скорость нагружения составляла 10 мм/мин, цена деления прибора разрывной машины 50 Н (шкала А). Общая приложенная растягивающая нагрузка на материалы до их разрушения, составила в пределах от 1800 до 2300 Н.

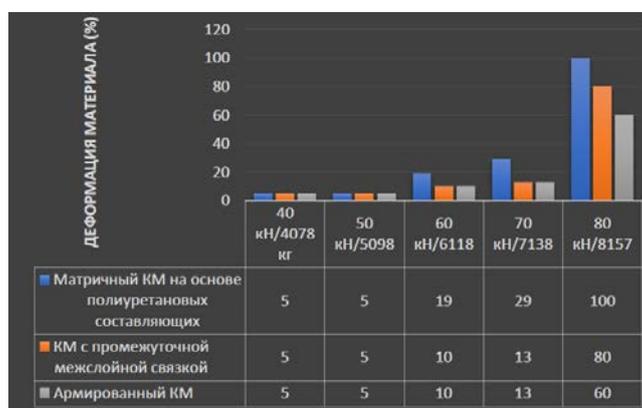


Рис. 7. Результаты испытаний образцов на сжатие

Получены следующие результаты:

Материал №1. Композитный материал на основе полиуретановых составляющих (грунтов): разрыв материала произошел при нагрузке 1800 Н.

Материал №2. Композитный материал с промежуточной межслойной связкой: разрыв материала произошел при нагрузке 1950 Н.

Материал №3. Армированный композитный материал, разрыв материала произошел при нагрузке 2300 Н.

Из чего следует, что полученные композитные материалы по техническим показателям относятся к группе эластичных соединений, и обладают повышенной гибкостью и пластичностью.

Далее были проведены испытания материалов на сжатие. Были подготовлены образцы для испытаний размерами 250x100x45 мм. Испытания проводились с помощью пресса холодного прессования электровинтового, применяемого в машиностроительном производстве, с номинальным усилием от 250 кН.

Испытуемые образцы поочередно устанавливались на нижнюю опорную плиту пресса так, чтобы продольные и поперечные оси материала и плиты оказались со направлены, а вертикальная ось материала совпадала с осью гидравлического хода верхней плиты пресса (ход нагрузки), в общем виде относительно по центру плит. Процесс сдвигания проходил до полного контакта поверхностей плит с испытуемым материалом, до максимального предела сдвигания. Время испытаний от 1 до 5 минут, с периодическим ослаблением и дальнейшим сдвиганием. Было проведено 5 испытаний с увеличением силы сжатия (рис. 7). Степень разрушения определялась в процентном соотношении.

В ходе испытаний установлено, что при максимальной гидравлической нагрузке в 80 кН произошло полное разрушение матричного композитного материала на основе полиуретановых составляющих, на 80% разрушился композитный материал с промежуточной межслойной связкой и на 60% армированный композитный материал.

Выводы и заключения:

1. Получены три вида матричных композитных материалов на основе лакокрасочных составляющих – без армирования, армированием древесным материалом и армированием полимерным стекловолокном. Полученные материалы не меняют своих механических свойств под воздействием окружающих факторов, таких как температурная среда и относительная влажность воздуха.

2. При испытаниях на разрыв, все три вида композиционных материалов показали практически одинаковые показатели (1800 – 2300 Н). При разрыве составляющих материала адгезионная способность сцепки одинакова, как у эластичного, так и у жесткого соединения. Таким образом, изготовленный «композит» является твердым, монолитным материалом, и способен выдерживать определённые нагрузки.

3. В ходе испытаний на сжатие установлено, что композиционные материалы способны к сопротивлению, сохраняя полученный материал в первоначальном виде без механических повреждений. В процессе сдвигания при нагрузке в 80 кН композиционные материалы подверглись разрушению, что привело к деформации исследуемых образцов.

4. Полученные композитные материалы имеют твердость по Шору А/15: 97 и А/15:99, что сравнимо с твердостью эбонита.

Список литературы

1. Цечоева А.Х. Использование полимерных композитных материалов в Машиностроении / А.Х. Цечоева // ФГБОУ ВО «Ингушский государственный университет» г. Назрань. Перспективы науки. №4 (103). 2018. С. 83.
2. Рогов В.А. Классификация композиционных материалов и их роль / В.А. Рогов, М.И. Шкарупа, А.К. Велис // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, 2012, № 2. С. 41.
3. Токменинов К.А. Перспективы освоения полимерных композиционных материалов в республике Беларусь / К.А. Токменинов // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 2(59) С. 65-72. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://www.elibrary.ru/34989632_62841164.pdf (дата обращения 25.09.2023)
4. Фридляндер И.Н. Композиционные материалы с металлической матрицей / И.Н. Фридляндер, К.И. Портной, В.Ф. Строганова, С.Е. Салибеков, В.М. Чубаров // «ВИАМ» Всероссийский институт авиационных материалов. «Авиационная промышленность» №5 1984г. С. 55-57. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://viam.ru/public> (дата обращения 25.09.2023).
5. Токменинов К.А. Эффективность освоения полимерных композиционных материалов в промышленности / К.А. Токменинов // Российский экономический вестник 2018, Том 1, №3 С. 12-17. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://www.elibrary.ru/37006475_33151986.pdf (дата обращения 25.09.2023).
6. Рональд В. Фьюст. Уретановые эластомеры: химия и морфология, методы формирования / Рональд В. Фьюст // Статья в журнале «Технологии» Технология резины: Рецептуростроение и испытания» Издательство «НОТ» Апрель 2011. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/342/> (дата обращения 25.09.2023).
7. Инфрахим. Лакокрасочные покрытия и их применение. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://www.infracim.ru/sprav/spravochnik/main/chto_takoe_lakokrasochnyy_material/ (дата обращения 25.09.2023).
8. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – СПб: Научные основы и технологии, 2008 – 822 с

Масягин Василий Борисович, канд. техн. наук, доцент, masaginvb@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Скобелев Станислав Борисович, канд. техн. наук, доцент, skobelew@rambler.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Ерофеев Евгений Александрович, аспирант, ewgen_77@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Ерофеев Денис Александрович, аспирант, denis.erofeev.77@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF MATRIX COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYMER PAINT COMPONENTS

V.B. Masyagin, S.B. Skobelev, D.A. Erofeev, E.A. Erofeev

The article presents the technology for producing three types of matrix composite materials based on film-forming paint and varnish coatings, which in their internal composition belong to polymer compositions, which in the final production are polymer composite materials (PCM). The results of static tests for plastic deformation of the resulting materials are presented: compression, tension, as well as the results of Shore hardness measurements, measurement of low-modulus polymers, using the rebound method. The resulting materials do not change their mechanical properties under the influence of environmental factors, such as the temperature environment and relative air humidity.

Key words: composite materials, glass fiber reinforcement, paint and varnish coatings, polymer matrix, tensile testing, Shore hardness.

Masyagin Vasily Borisovich, candidate of technical sciences, docent, masaginvb@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University,

Skobelev Stanislav Borisovich, candidate of technical sciences, docent, skobelew@rambler.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University,

Erofeev Denis Alexandrovich, postgraduate, denis.erofeev.77@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University,

Erofeev Yevgeniy Alexandrovich, postgraduate, ewgen_77@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University

УДК 678.5

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-440-441

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ КОЛЕСНЫХ ОПОР

О.В. Сулина, И.К. Устинов

В работе представлен расчет и анализ литниковых систем для изготовления типовой детали «Колесо». Были спроектированы два оптимальных варианта литниковых систем и мест впуска расплава. Анализ технологических процессов выполнялся в системе Autodesk Moldflow Adviser. По электронной геометрической модели детали были построены поверхностные сетки конечных элементов с использованием метода 2,5D (Dual-Domain) для литниковых систем и систем охлаждения. На основании исходных данных смоделированы все стадии технологического процесса литья. Выполнен анализ факторов, влияющих непосредственно на качества изделия: время заливки формы, температуры расплава и прогностический анализ дефектов отливки. По моделям определены оптимальные технологические параметры процесса литья. На базе спроектированной литниковой системы с торцевым вариантом заливки туннельными литниками была спроектирована и изготовлена пресс-форма для литья под давлением, промышленный образец прошел испытания. В результате исследования сделан вывод о том, что теоретические исследования на основе моделирования процесса литья в системе Autodesk Moldflow Adviser с высокой точностью могут спрогнозировать достоверность теоретических исследований процессов литья под давлением термопластов.

Ключевые слова: литье пластмасс под давлением, Autodesk Moldflow Adviser, сетка Dual Domain, точка впрыска, литниковая система, центральный литниковый канал, разводящий канал, впускной канал.

Проектирование литниковой системы является начальным этапом разработки прессформы для литья под давлением изделий из пластмасс. На данном этапе решаются важные проектно-конструкторские задачи: определение местности формы, расчет и конструирование параметров литниковой системы и системы охлаждения, проектирование вентиляционных каналов. Конструкция литниковой системы влияет на производительность процесса, качество изделия и экономию материала. Выбор оптимального места впуска при литье под давлением является основополагающим для обеспечения технико-экономических показателей производственного процесса.

Проектирование литниковой системы основано на анализе «поведения» полимерного материала при заполнении, уплотнении и охлаждении областей изделия, оценки влияния усадки, коробления, остаточных напряжений и др. свойств [1]. Такие задачи возможно решить методом оптимизации на основе моделирования процесса литья термопластов в САЕ-системах.

В работе представлен расчет и анализ литниковых систем для изготовления детали «Колесо». Чертеж и электронная геометрическая модель детали представлены на рисунке 1.

«Колесо» является деталью опоры качения для корпусной мебели бытового назначения. Деталь должна обладать высокой прочностью, жесткостью и износостойкостью. Колесные опоры должны обеспечить плавность хода мебели и бесшумность при эксплуатации. Согласно ГОСТ 16371-2014 [2] долговечность опор качения определяется циклами прокатывания: 2500 циклов при длине хода 500 ± 50 мм.

Для изготовления детали «Колесо» был выбран полипропилен (гомополимер) MOPLENHP501N. Материал был подобран исходя из требований к свойствам материала, обеспечивающим работоспособность изделия. MOPLENHP501N относится к полипропиленам общего назначения, обладает хорошей текучестью в сочетании с высокой жесткостью. Показатель текучести расплава составляет 10г/10мин, плотность материала 900 кг/м^3 , модуль упругости при растяжении - 1550МПа [3].

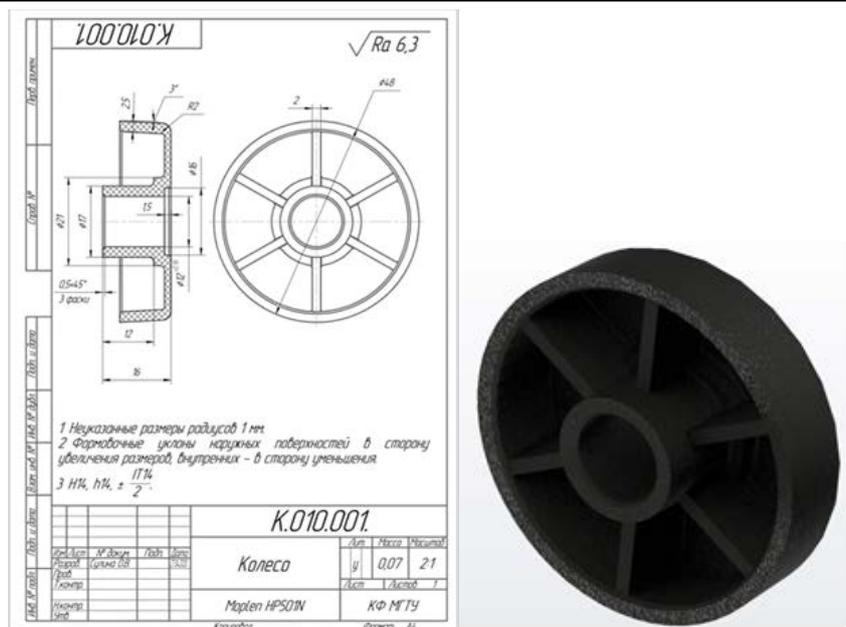


Рис. 1. Чертеж и электронная геометрическая модель детали «Колесо»

Согласно наибольшему объему отливки и техническим характеристикам применяемого на производстве оборудования была выбрана однопозиционная машина для литья под давлением ДЗ132 – 250 с номинальной объемной скоростью впрыска 150см³/с, номинальным давлением литья в цилиндре 132МПа и усилием запирания 1600кН [4].

Для анализа литья под давлением детали «Колесо» была выбрана система компьютерного инжиниринга Autodesk Moldflow Adviser. Программа позволяет выполнить анализ стадий заполнения и уплотнения полости пресс-формы, а также охлаждения деталей в прессформе, анализ коробления отливки на основе данных о распределении температуры, давления расплава и прогностических данных о возможных дефектах литья.

Для данной детали исходя из технико-экономических показателей и требований к производительности с учетом параметров применяемого оборудования была выбрана четырехместная форма, литниковая система в этом случае будет состоять из центрального литникового канала, шести разводящих и четырех впускных каналов.

Согласно техническому заданию были спроектированы два оптимальных варианта параметров и геометрии литниковых систем, мест впуска.

Первый вариант заливки предполагает расположение места впуска на боковой поверхности детали «Колесо», что обеспечит течение материала в направлении, а, соответственно, и ориентацию макромолекул полимера, в котором требуется получить наибольшие прочностные свойства. Для обеспечения равномерного течения расплава применяем разводящие каналы сегментной формы и впускные литники прямоугольного сечения.

Второй вариант заливки предполагает место впуска на торцевой поверхности детали «Колесо». Точка впрыска выбрана максимально близко к оси колеса, что позволяет сократить путь течения расплава по оформляющей полости и обеспечивает одновременное ее заполнение, а также уплотнение детали по всему контуру. Для минимизации тепловых потерь разводящие каналы применяем круглого сечения и впускные туннельные литники.

Размеры центрального литникового канала определяем согласно практическим рекомендациям [5] на основе данных о скорости течения материала 300см/с, геометрических параметрах изделия и технических характеристик оборудования. Диаметр центрального литникового канала на входе в литниковую втулку рассчитываем по эмпирической формуле (1):

$$d_1 = d_c + 0,5 = 4,5 \text{ мм} \quad (1)$$

где d_c - диаметр сопла машины, мм.

Длину центрального литникового канала принимаем 45 мм, угол конуса - 5°.

Разводящие каналы, соединяющие оформляющие полости формы с центральным литником, при первом варианте заливки применяем сегментной формы, впускные литники прямоугольного сечения (рис. 2).

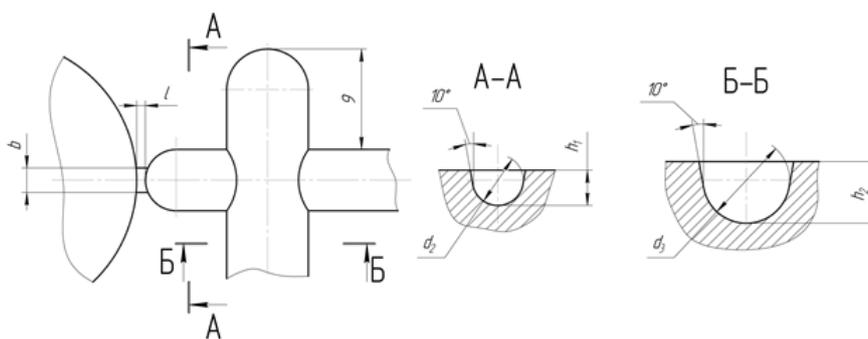


Рис. 2. Геометрические параметры литниковой системы для боковой заливки детали «Колесо»

Размеры разводящих каналов перед впускными и после центрального литников определяем по эмпирическим формулам (2-4) согласно рекомендациям [5]:

$$d_2 = S + 1,5 = 2,5 + 1,5 = 4 \text{ мм}, \quad (2)$$

где d_2 - диаметр оснований разводящих каналов перед впускными литниками, мм; S - толщина изделия, мм;

$$h_1 = \frac{2}{3}d_2 = \frac{2}{3} \times 4 \approx 2,7 \text{ мм}, \quad (3)$$

где h_1 - глубина разводящих каналов перед впускными литниками, мм;

$$d_3 = \sqrt{2} \times d_2 = \sqrt{2} \times 4 \approx 5,7 \text{ мм}, \quad h_2 = \sqrt{2} \times 2,7 \approx 3,8 \text{ мм}, \quad (4)$$

где d_3 - диаметр оснований разводящих каналов после центрального литника, мм; h_2 - глубина разводящих каналов после центрального литника, мм.

Разводящие каналы перед поворотом удлиняем для сборки охлажденного расплава.

Размеры впускных литников рассчитываем по характеристическому размеру изделия:

$$H = \frac{2V}{S} = \frac{2 \times 9040}{8775,38} \approx 2,06 \text{ мм}, \quad (5)$$

где V - объем изделия, мм³, S - площадь поверхности изделия, мм².

Глубину h_3 и ширину b впускных каналов определяем по эмпирическим формулам (6-7) согласно рекомендациям [5]:

$$h_3 = a \times H = 0,7 \times 2,06 \approx 1,44 \text{ мм}, \quad (6)$$

где a - коэффициент материала изделия;

$$b = a \frac{\sqrt{A}}{30} = 0,7 \frac{\sqrt{3164,16}}{30} \approx 1,3 \text{ мм}, \quad (7)$$

где A - площадь поверхности матрицы, мм².

Длину каналов принимаем 1 мм в соответствии с рекомендациями [5].

Разводящие каналы при втором варианте заливки применяем круглого сечения, впускные литники туннельного типа (рис. 3).

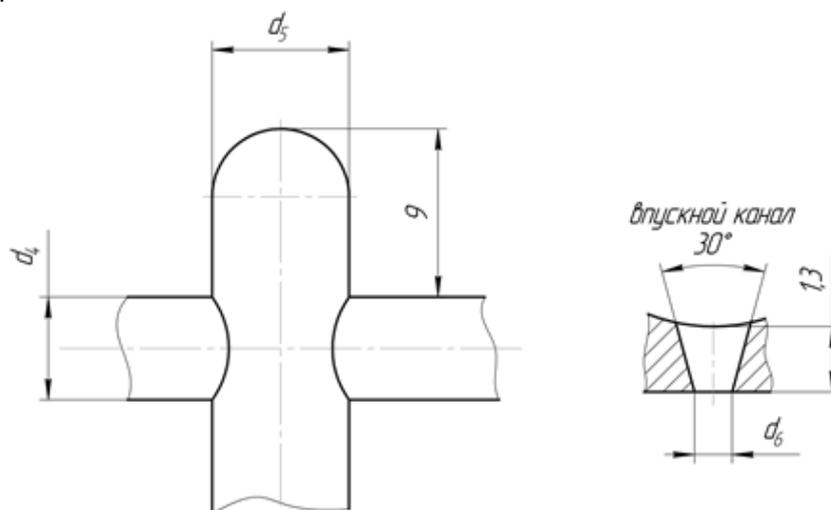


Рис. 3. Геометрические параметры литниковой системы для торцевой заливки детали «Колесо»

Площадь поперечного сечения разводящих каналов принимаем для двух вариантов заливки равной, следовательно, диаметры разводящих каналов перед впускными литниками $d_4 = 3$ мм, диаметры разводящих каналов после центрального литника $d_5 = 5$ мм.

Размеры впускных литников рассчитываем по характеристическому размеру изделия H согласно рекомендациям [5]. Диаметры впускных каналов определяем по формуле (8):

$$d_8 = 0,85H = 0,85 \times 2,06 \approx 1,75 \text{ мм} \quad (8)$$

Длину каналов принимаем 1,3 мм в соответствии с рекомендациями [5].

По электронной геометрической модели детали «Колесо» в IGES формате в системе Autodesk Moldflow Adviser была построена поверхностная сетка конечных элементов с использованием метода 2,5D (Dual-Domain) для литниковой системы и систем охлаждения для двух вариантов спроектированных литниковых систем. На основании исходных данных о материале, оборудовании и режимов переработки выполняем анализ факторов, влияющих непосредственно на качества изделия, моделируя все технологические стадии процесса. К таким факторам относятся: время заливки формы и температура расплава.

На рисунке 4 показаны эпюры температуры фронта потока расплава в полости формы для двух вариантов заливки. При боковой заливке перепад температур составляет 215-220°, при торцевой заливке: 219,6-220°. Средняя температура находится в пределах рекомендуемого диапазона температур заливки для материала детали, отсутствуют горячие области. Торцевой вариант заливки формы обеспечивает наибольшую равномерность распределения температуры по всей длине порции материала.

На рисунке 5 показаны эпюры времени заполнения формы, а именно положение фронта потока через равные промежутки времени по мере заполнения полости.

При боковой заливке время заливки составляет 1,846 с, при торцевой заливке: 0,125 с. При торцевой заливке пути потока достигают конечных точек практически одновременно, что является определяющим признаком сбалансированности течения полимера; значительно выше производительность технологического процесса.

Прогностический анализ дефектов отливки: линий сварки и воздушных ловушек представлен на рис. 6 и 7.

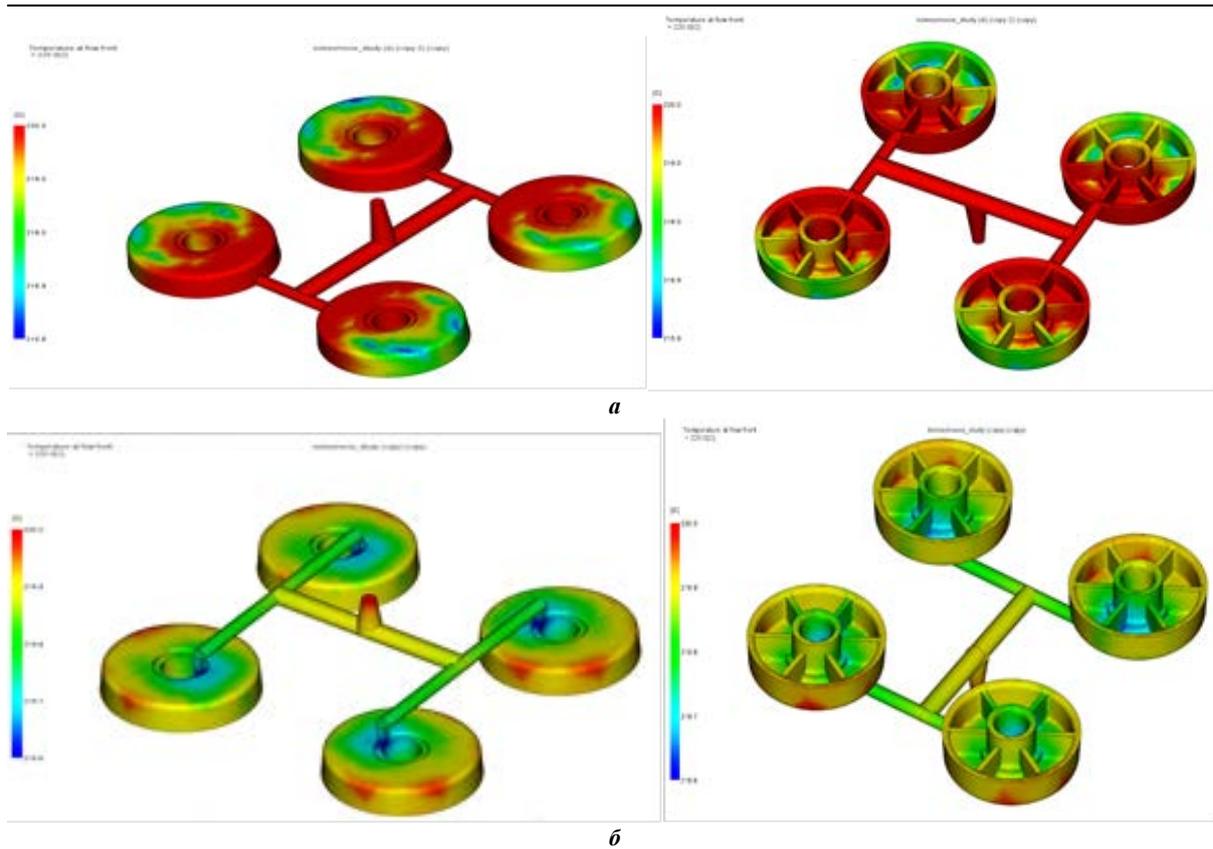


Рис. 4. Эпюры температуры фронта потока расплава в полости формы для: а – боковой заливки; б – торцевой заливки детали «Колесо»

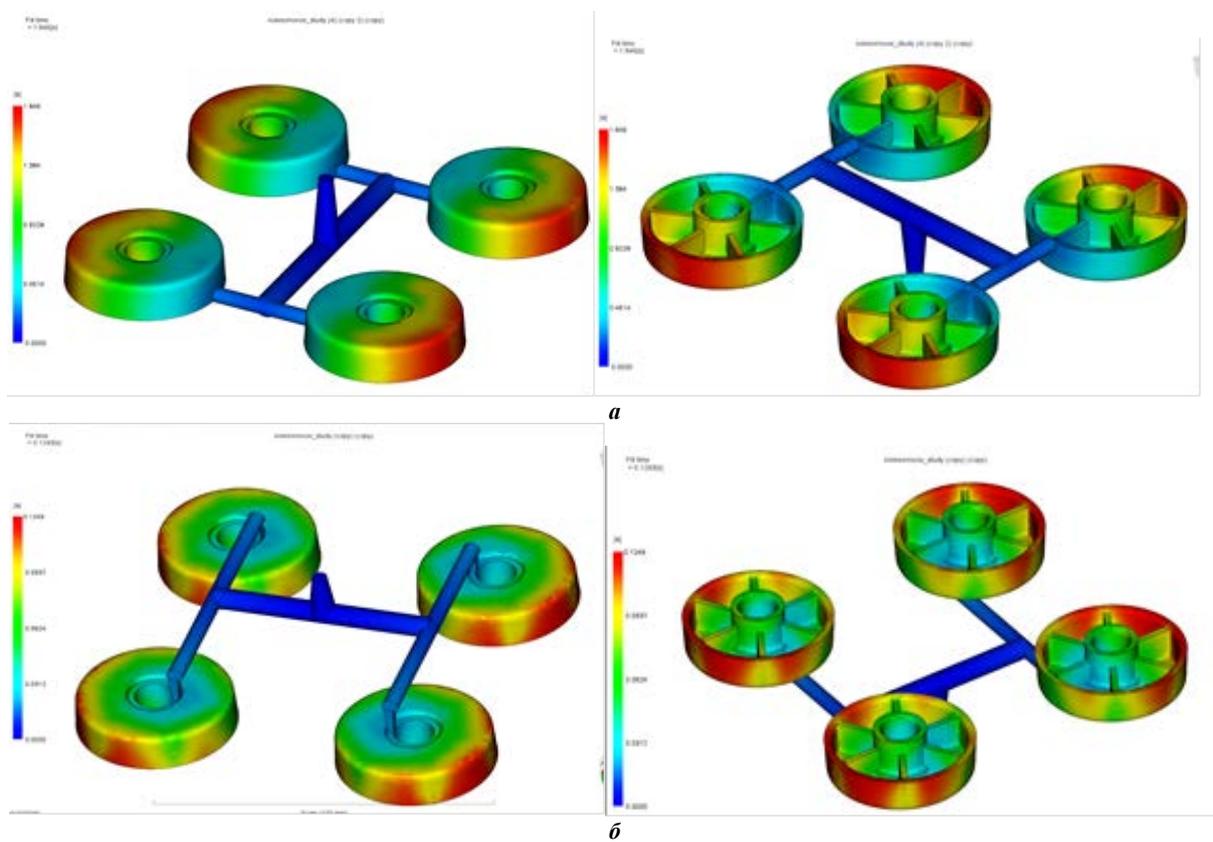


Рис. 5. Эпюры времени заполнения формы для: а – боковой заливки; б – торцевой заливки детали «Колесо»

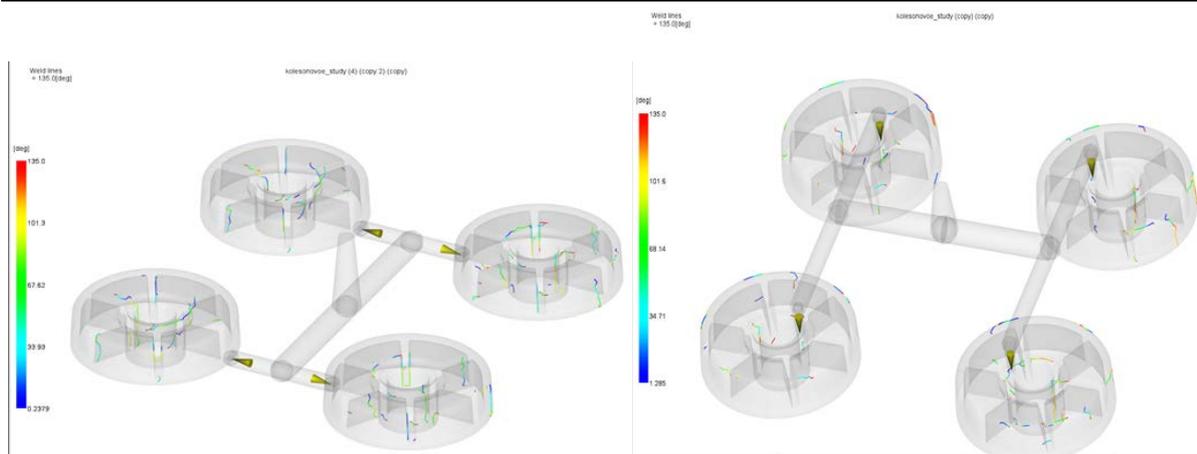


Рис. 6. Линии спая для: а – боковой заливки; б – торцевой заливки детали «Колесо»

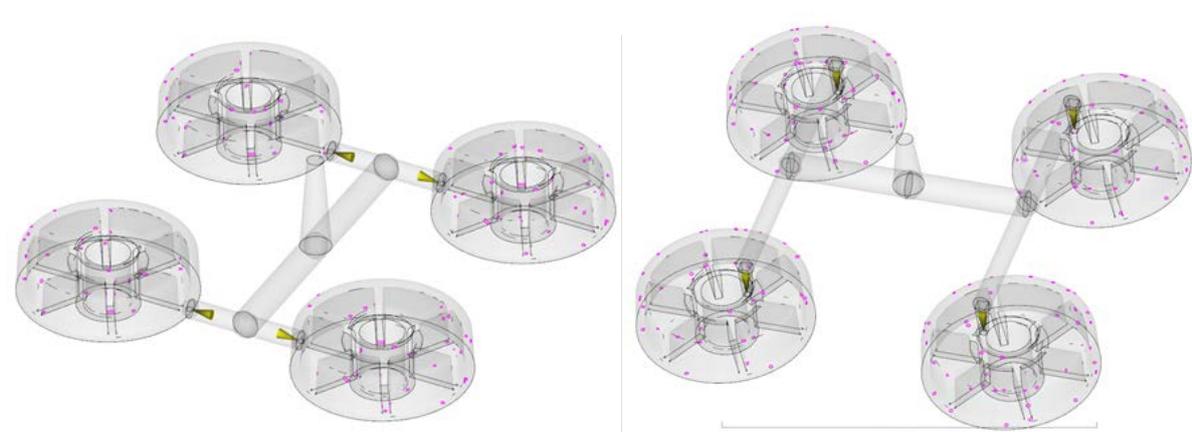


Рис. 7. Воздушные ловушки для: а – боковой заливки; б – торцевой заливки детали «Колесо»

Воздушные ловушки для обоих вариантов заливки образуются в местах схождения фронтов потока и между фронтами потока и стенками полости. При боковой заливке образуется линия спая с недопустимым углом объединения фронтов потока на лицевой рабочей поверхности детали, что крайне нежелательно. Для улучшения качества отливки необходимы вентиляционные каналы.

В таблице 1 представлены технологические параметры процессов литья детали «Колесо» при различных вариантах заливки формы.

Таблица 1

Расчетные технологические параметры процесса литья детали «Колесо» при различных вариантах заливки формы

Параметры процесса	Боковая заливка детали	Торцевая заливка детали
Время впрыска	1,85 с	0,12 с
Давление впрыска	100 МПа	100 МПа
Площадь отливки на плоскость разъема	77,28 см ²	78,95 см ²
Усилие смыкания	2,622 тонн	5,881 тонн
Расчетное время цикла	7,14 с	12,25 с
Общий вес детали	28 г	28 г
Объем отливки	43,04 см ³	44,12 см ³
Объем полости	37,68 см ³	37,68 см ³
Объем литников	5,37 см ³	6,45 см ³
Время охлаждения	10,34 с	9,13 с
Время открытия пресс-формы	5 с	3с
Время цикла	17,14 с	12,25 с

Анализ двух вариантов литниковых систем и мест впрыска с помощью моделирования процесса литья под давлением в системе детали «Колесо» показал, что при торцевом варианте заливки качество изделия и эффективность технологического процесса значительно выше, чем при боковом варианте заливки.

На базе спроектированной литниковой системы с торцевым вариантом заливки туннельными литниками была спроектирована и изготовлена пресс-форма для литья под давлением, промышленный образец прошел испытания. Экспериментальные значения показаны в таблице 2.

**Экспериментальные технологические параметры процесса литья детали «Колесо»
при торцевой заливке детали «Колесо»**

Параметры процесса	Торцевая заливка детали
Время впрыска	0,13 с
Давление впрыска	100 МПа
Усилие смыкания	5,881 тонн
Расчетное время цикла	12,25 с
Общий вес детали	28 г
Объем отливки	44,13 см ³
Объем полости	37,69 см ³
Объем литников	6,45 см ³
Время охлаждения	9,12 с
Время открытия пресс-формы	3с
Время цикла	12,25 с

Сравнительный анализ теоретико-экспериментальных результатов показал достоверность теоретических исследований процессов литья под давлением термопластов в системе компьютерного инжиниринга Autodesk Moldflow Adviser.

Список литературы

1. Барвинский И.А., Барвинская И.Е. Компьютерный анализ литья: Подходы и модели // Пластик. 2009. № 3. С. 50-54.
2. ГОСТ 16371-2014 Мебель. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 28 с.
3. Homopolymer MOPLNHP501N // megapolimers.com. 2024. [Электронный ресурс] URL: <https://megapolimers.com/materials-list> (дата обращения 31.01.2024).
4. Паспорт на литьевую машину ДЗ132-250 // pasportz.ru. 2024. [Электронный ресурс] URL: <https://www.pasportz.ru/mashina-dla-litia/item/1014066-d3132-250> (дата обращения 30.01.2024).
5. Пантелеев А.П., Шевцов Ю.М., Горячев И.А. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс. М: Машиностроение, 1986. 400 с.

Сулина Ольга Владимировна, канд. техн. наук, доцент, sulinaolga@bmstu.ru, Россия, Калуга, Калужский филиал Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),

Устинов Игорь Кириллович, канд. техн. наук, доцент, ustinov_ik@bmstu.ru, Россия, Калуга, Калужский филиал Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

DESIGN OF FEED SYSTEM FOR INJECTION MOLDING OF WHEEL FURNITURE SUPPORTS

O.V. Sulina, I.K. Ustinov

The paper presents the calculation and analysis of gating systems for the manufacture of a standard "Wheel" part. Two optimal options for gating systems and melt inlet locations were designed. Analysis of technological processes was carried out in the Autodesk Moldflow Adviser system. Based on the electronic geometric model of the part, surface meshes of finite elements were constructed using the 2.5D (Dual-Domain) method for the gating and cooling systems. Based on the initial data, all stages of the casting process were modeled. An analysis of factors directly influencing the quality of the product was carried out: mold filling time, melt temperature and predictive analysis of casting defects. Based on the models, the optimal technological parameters of the casting process were determined. On the basis of the designed gating system with the end option of filling with tunnel gates, an injection mold for injection molding was designed and manufactured, and the industrial prototype was tested. As a result of the study, it was concluded that theoretical studies based on modeling of the injection molding process in the Autodesk Moldflow Adviser system can accurately predict the reliability of theoretical studies of thermoplastic injection molding processes.

Key words: plastic injection molding, Autodesk Moldflow Adviser, Dual Domain mesh, injection location, Feed system, sprue, runner, gate.

Sulina Olga Vladimirovna, candidate of technical sciences, docent, sulinaolga@bmstu.ru, Russia, Kaluga, Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch),

Ustinov Igor Kirillovich, candidate of technical sciences, docent, ustinov_ik@bmstu.ru, Russia, Kaluga, Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

В.Б. Масыгин, С.Б. Скобелев, Д.А. Ерофеев, Е.А. Ерофеев

В работе представлены два основных способа механической обработки матричного композитного материала на основе полимерной матрицы: метод лезвийной обработки – фрезерование, а также обработка методом шлифования. Учитывая рекомендации по обработке полимерных композитных материалов, определены рациональные режимы обработки и необходимые параметры (геометрия) режущего инструмента. Получены зависимости шероховатости поверхности от скорости резания при фрезеровании, а также высоты нароста от скорости резания. Предложены рекомендации по устранению дефекта несрезаемости армирующего материала при фрезеровании и шлифовании.

Ключевые слова: матричный композитный материал, фрезерование, шлифование, армирующий материал, несрезаемость, режимы обработки, наростообразование.

При механической обработке матричного композитного материала, полученного в работе [1], следует придерживаться определённых рекомендаций по назначению рациональных режимов, в частности при фрезеровании и абразивной обработке. Матричный композитный материал представляет собой материал, который подвержен плавлению при нагреве во время обработки. При медленном и долгом обрабатывании материал дольше сохраняет состояние твёрдого тела. С увеличением скорости резания при обработке снижается твердость материала, приобретает более вязкое и тягучее состояние. При этом затрудняется работа режущего инструмента, что приводит к образованию нароста в виде налипания вязкого срезаемого слоя.

Например, при раскрое матричного композитного материала с помощью циркуляционных и ленточных пил, маятниковой дисковой пилы или с помощью фрезерования 70 – 80% тепла уходит в стружку, поэтому возникают такие проблемы как плавление стружки в зоне контакта при распиле, а также налипание на инструмент и на обработанную поверхность [2].

В сравнении с обработкой металлов, где с увеличением твердости необходимо увеличивать частоту вращения шпинделя и уменьшать подачу, для обработки матричных композитных материалов, имеющих высокую вязкость, необходимо снижать частоту вращения шпинделя и подбирать подачу экспериментально в зависимости от оборудования [3].

При обработке матричных композитных материалов следует применять способы обработки, применяемые для обработки всех групп композитных материалов, а также цветных металлов (алюминиевые сплавы). При фиксации, закрепления материала в зажимах, струбцинах, тисках, трех кулачковых патронах следует применять прокладочный материал или учитывать дополнительный припуск на обработку во избежание повреждения материала [4].

Полученный в работе [1] матричный композитный материал обрабатывался с помощью фрезерования и шлифования. Производилась обработка торцевой поверхности и фрезерование плоскости с применением фасонной и концевой фрез. Обработка производилась на вертикально-фрезерном копировальном станке с пневматическим управлением, «GRIGGO G-80».

Обработка полученного материала фрезерованием идентична методу обработки шлифованием, и представляет собой фрезерование встречное с упором в режущий инструмент, причем заготовка удерживается вручную на плоскости стола. Снимаемый припуск за один проход, определяется конфигурацией инструмента и твердостью обрабатываемого материала, и составляет от 1мм до полного снятия.

Обработка производилась по всему периметру детали, прижимы и упоры не использовались (рис. 1, а). В качестве режущего инструмента применялась фреза кромочная (классическая) диаметром 20 мм (рис. 1, б), материал режущей части – твёрдый сплав, параметры углов стандартные (базовые) для данного инструмента: $\gamma=5^\circ$, $\alpha=25^\circ$, $\beta=60^\circ$, угол резания $\delta=85^\circ$. Фрезерование боковой поверхности осуществлялось без упора в инструмент.

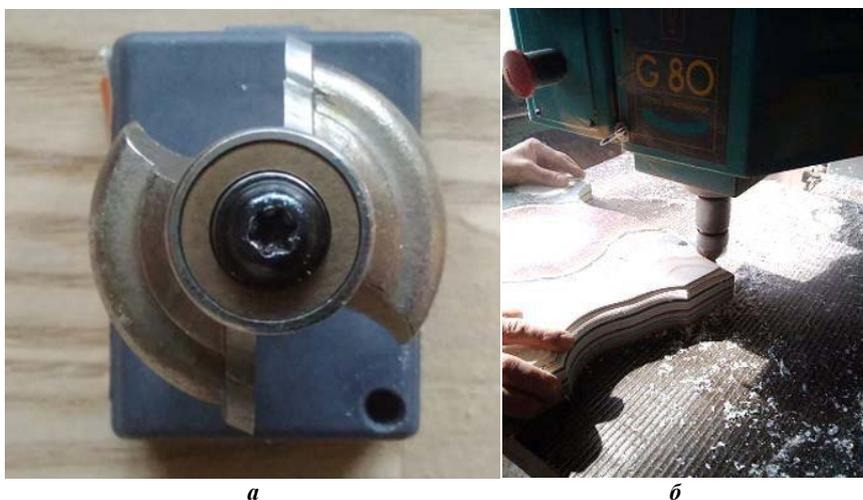


Рис. 1. Фрезерование боковой поверхности заготовки:
а – процесс обработки; б – фреза кромочная профильная, $\varnothing 20$ мм

Глубина резания составляла не более 1 мм, количество проходов зависело от величины припуска на обработку. Частота вращения шпинделя составляла 18000 об/мин, что является высокоскоростной обработкой.

Одним из основных параметров при обработке матричных композитных материалов являлся подбор оптимальной частоты вращения шпинделя. Исходя из параметров используемого оборудования, частота вращения шпинделя n , выбиралась из диапазона от 9000 об/мин до 18000 об/мин. С целью подбора оптимальной частоты вращения производилась обработка образцов при следующих значениях: 16000 об/мин, 14000 об/мин, 12000 об/мин, 9000 об/мин. Установлено, что оптимальными режимами обработки являются: частота вращения шпинделя $n = 9000$ об/мин, скорость резания $V = 565,2$ м/мин, подача на зуб $S_z = 0,31$ мм, глубина резания $t = 1 - 2$ мм. Число проходов зависит от величины припуска на обработку (не более 2 мм за один проход). Качество обработки поверхности на оптимальных режимах является вполне удовлетворительным.

При проведении визуального осмотра инструмента после 20 минут работы установлено, что фреза во время обработки подвергается изнашиванию в результате плавления стружки при работе на максимальных оборотах. Кроме того, на задней поверхности режущей части образовался фрагмент налипания в виде нароста (рис. 2, а). После 40 минут непрерывной работы произошло скалывание на режущей кромке (рис. 2, б) по причине возможных посторонних включений в состав композитного материала.



Рис. 2. Дефекты режущего инструмента после обработки: а – нарост; б – скалывание

Получена зависимость высоты нароста от времени на обработку. Установлено, что нарост возрастает при увеличении времени обработки до 12,5 минут и максимальный нарост составляет 500 мкм. В дальнейшем, скорость нароста образования снижается и нарост уменьшается с 500 мкм до 200 мкм после 20 минут работы инструмента (рис. 3).

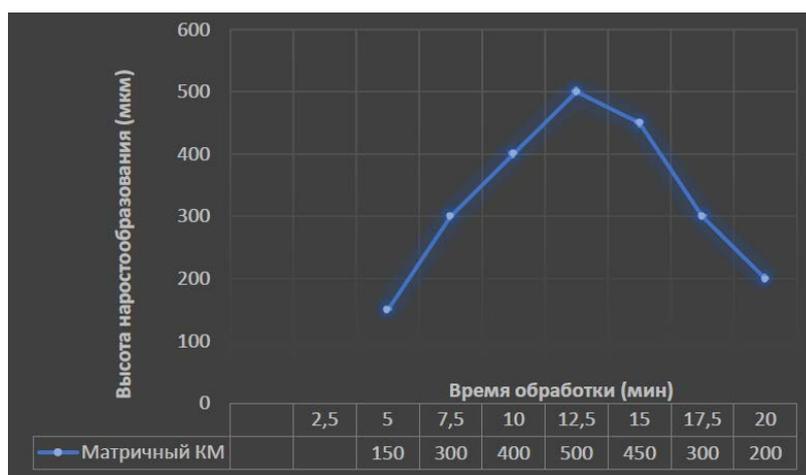


Рис. 3. Зависимость высоты нароста от времени на обработку (режимы обработки: частота вращения шпинделя $n = 9000$ об/мин, скорость резания $V = 565,2$ м/мин, подача на зуб $S_z = 0,31$ мм, глубина резания $t = 1 - 2$ мм)

После обработки торцевой поверхности произведено измерение шероховатости с помощью прибора MarSurf PS1. Получена зависимость шероховатости от скорости резания (рис. 4).

Установлено, что минимальное значение шероховатости $R_a 0,42$ мкм достигается при скорости резания 753,6 м/мин.

Визуальный осмотр обработанной поверхности материала (рис. 5) показал, что поверхность ровная, гладкая, материал обрабатывается без сколов, вырывания, следы срезаемого слоя отсутствуют.

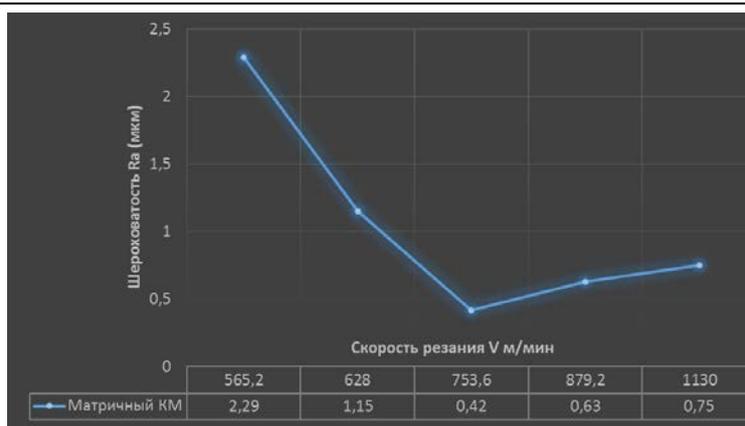


Рис. 4. Зависимость шероховатости от скорости резания



Рис. 5. Поверхность после обработки с частотой вращения шпинделя 9000 об/мин

Качество поверхности удовлетворительное – ребристость, скалывание по кромке отсутствуют. Однако, наблюдается повышенное сконцентрированное запыление при обработке. Поскольку материал имеет твёрдую мало-вязкую структуру, то обработка невозможна без мер защиты органов дыхания. Работа должна производиться только в цеховых условиях, снабжённых системой вентиляции и приточкой свежего воздуха.

При обработке плоскости (рис. 6) композитного материала использовались такие же режимы резания, как при торцевом фрезеровании.

Во время обработки плоскости концевыми фрезами образовалась проблема несрезаемости армированного материала (рис. 7, а). В следствие чего, было принято решение по изменению режимов резания – увеличению оборотов шпинделя с 9000 об/мин. до 18000 об/мин, а также уменьшению подачи. При уменьшении подачи длина несрезаемого слоя заметно уменьшилась, но это не привело к желаемому результату.

Решением проблемы стала смена режущего инструмента, согласно рекомендациям [5], на фрезу концевую z6 P6M5 ГОСТ 17025 с цилиндрическим хвостовиком. Ось вращения концевой фрезы расположена под прямым углом к плоскости заглабления обрабатываемой поверхности. Основные режущие кромки расположены на боковой цилиндрической поверхности, в следствие чего процесс резания происходит по линии соприкосновения режущих кромок с плоскостью обрабатываемой поверхности.



Рис. 6. Фрезерование плоскости без упора

На торце концевой фрезы также находятся режущие кромки, которые располагаются под углом к оси вращения инструмента. Эти режущие кромки выполняют вспомогательную функцию при обработке. Режущая поверхность концевой фрезы выполняется в виде спиральных и наклонных зубьев, угол наклона составляет в диапазоне 30-45° [6].

За счет увеличения количества зубьев, а также за счет угла наклона режущей кромки относительно оси вращения инструмента удалось достичь желаемого результата (рис. 7, б) – армирующий материал подрезался полностью.



Рис. 7. Обработка армирующего материала: а – несрезаемость армирующего материала; б – поверхность с полностью срезанным армирующим материалом

Обработка шлифованием проводилась на станке фрезерного типа ФСШ-1А с подачей заготовки вручную с использованием шаблонов и упорного кольца для обработки поверхностей криволинейной конфигурации (рис. 8, а). Оснастка: головка (барабан) для фиксации абразивного материала Ø120мм, высота – 150мм, посадочный диаметр 32 мм. Применяемый инструмент: абразивный гибкий материал (лента шлифовальная) для сухого шлифования. Зернистость абразива Р100, Р600, Р800. Скорость вращения шпинделя (шлифовальный барабан) выбрана минимальная – 3000 об/мин в целях безопасности по причине разрыва шлифовальной ленты, при более высоких скоростях.



Рис. 8. Абразивная обработка матричного композитного материала: а – основные движения при обработке; б – несрезаемость армирующего материала

Поверхность обработанного образца материала, в частности, фоновый материал матрицы, после шлифования приобретает гладкую, ровную структуру: царапины, сколы, выбоины, следы срезания отсутствуют в следствии снижения зернистости абразивного материала (Р100 – Р800). Стружка, образующаяся в процессе обработки, представляет собой дисперсию в виде мелкой пыли [7, 8].

Однако, армирующее наполнение в виде полимерной сетки не обрабатывается шлифованием, приобретая при этом ярко выраженную несрезаемость, обнаруживаемую при визуальном осмотре (рис. 8, б). Одним из путей устранения выявленного дефекта может являться уменьшение подачи заготовки.

Выводы по результатам работы:

1. Исследуемый матричный композитный материал не ограничен в лезвийной обработке, легко подвергается воздействию режущего инструмента. Основные способы обработки — это сверление, фрезерование, точение, шлифование.
2. Установлено, что оптимальными режимами обработки при фрезеровании являются: частота вращения шпинделя $n = 9000$ об/мин, скорость резания $V = 565,2$ м/мин, подача на зуб $S_z = 0,31$ мм, глубина резания $t = 1 - 2$ мм. Минимальное значение шероховатости Ra 0,42 мкм достигается при скорости резания 753,6 м/мин.
3. При обработке плоскости фрезерованием для устранения дефекта несрезаемости армирующего материала необходимо увеличить частоту вращения шпинделя до 18000 об/мин и применять фрезу концевую z6 Р6М5 ГОСТ 17025-71 с цилиндрическим хвостовиком.
4. При обработке матричного композитного материала шлифованием оптимальной частотой вращения шпинделя является 3000 об/мин. Для устранения дефекта несрезаемости армирующего материала рекомендуется уменьшение ручной подачи заготовки.

Список литературы

1. Ерофеев Д.А., Чуприн В.В., Аверичев И.Л., Ерофеев Е.А. Получение композитного материала на основе лакокрасочных составляющих // Приоритетные направления развития науки и образования: сборник статей XV Международной научно-практической конференции. Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. С. 30-38.
2. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии. СПб.: Профессия, 2008. 560 с.
3. Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Обработка специальных материалов в машиностроении: Справочник. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2002. 264 с.
4. Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Лобанов Д.В., Ткаченко Е.В., Ткаченко Н.А. Особенности фрезерования полимерных композиционных материалов // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 2. С. 88 – 90.
5. Гапонкин В.А. Обработка резанием. Металлорежущий инструмент и станки. М.: Машиностроение, 1990. 448с.
6. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Подготовка режущего инструмента для обработки композиционных материалов: Монография. Братск. Братский университет 2011. 192 с.
7. Абразивные материалы, плоское шлифование. [Электронный ресурс] URL: <https://abramat.ru/ploskoeshlifovanie> (дата обращения: 13.06.2021).
8. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. М.: Машиностроение, 1977. 263 с.

Масягин Василий Борисович, канд. техн. наук, доцент, masaginvb@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Скобелев Станислав Борисович, канд. техн. наук, доцент, skobelew@rambler.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Ерофеев Евгений Александрович, аспирант, ewgen_77@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Ерофеев Денис Александрович, аспирант, denis.erofeev.77@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет

DETERMINATION OF RATIONAL MODES FOR MECHANICAL PROCESSING OF MATRIX COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYMER PAINT COMPONENTS

V.B. Masyagin, S.B. Skobelev, D.A. Erofeev, E.A. Erofeev

The paper presents two main methods of mechanical processing of a matrix composite material based on a polymer matrix: the blade processing method - milling, as well as processing by grinding. Taking into account recommendations for processing polymer composite materials, rational processing modes and the necessary parameters (geometry) of the cutting tool were determined. The dependences of surface roughness on the cutting speed during milling, as well as the build-up height on the cutting speed, were obtained. Recommendations are proposed for eliminating the defect of non-cutting of the reinforcing material during milling and grinding.

Key words: matrix composite material, milling, grinding, reinforcing material, non-cutting, processing modes, build-up formation.

Masyagin Vasily Borisovich, candidate of technical sciences, docent, masaginvb@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University,

Skobelev Stanislav Borisovich, candidate of technical sciences, docent, skobelew@rambler.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University,

Erofeev Denis Alexandrovich, postgraduate, denis.erofeev.77@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University

Erofeev Yevgeniy Alexandrovich, postgraduate, ewgen_77@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ

Нгуен Ван Линь

При разработке технологии роботизированной сборки необходимо использовать интеллектуальные алгоритмы, которые онлайн управляют процессом сборки. Одной из задач, которая до сих пор мало исследована, является сборка цилиндрических нежестких деталей. Разработаны математические модели этапов сопряжения при роботизированной сборке, необходимые для идентификации сигналов силомоментного датчика. Предложена модель определения характера деформации детали на основе идентификации выходных сигналов силомоментного датчика. Полученные аналитические решения позволяют определить условия возникновения заклинивания упругого вала при двухточечном контакте в процессе сопряжения вала с жесткой втулкой. Полученные значения прогибов и углов поворота позволяют корректировать движение выходного звена робота при выполнении операции сборки. Представлена математическая модель решения задачи определения текущего контактного состояния (CS) при сборке с использованием метода машины опорных векторов (SVM) при получении информации о координатах положения системой управления промышленного робота и усилий с силомоментного датчика. Проведена апробация алгоритма на промышленном роботе IRB-140 с контроллером IRC5, оснащенный силомоментным датчиком FTN-AXIA80 SI500-20 Ethernet фирмы «Schunk».

Ключевые слова: роботизированная сборка; нежесткий вал; силомоментный датчик; величины деформации; опорные векторы; условия заклинивания; алгоритм управления.

В машиностроении широко распространена операция установки жесткой детали во втулку. В исследованиях, как правило, изучались детали, которые предполагались абсолютно жесткими. Однако в последние годы все больше применяются гибкие и нежесткие детали в конструкциях машинах. В процессе соединения деталей в окружающей среде робота неизбежно возникают неопределенности, которые ведут к ошибкам при выполнении точных манипуляций. Для корректировки этих погрешностей необходимо выполнение точного движения, которое называется адаптацией положения детали. Адаптации движения можно достичь путем активных или пассивных средств, а также их комбинации [1]. Методы пассивной адаптации основаны на применении упругих и демфирующих элементов. Конструкции спроектированы таким образом, что силы, возникающие в точках контакта деталей, корректировали ошибки их положения [1]. В работе [2] рассматривается автоматизация процесса установки пластикового кольца в вал с зазором в несколько микрометров с использованием самовыравнивающихся зажимов. Верхняя часть схвата имеет угол наклона, который исправляет ошибку позиционирования кольца относительно вала путем воздействия горизонтальной силы. В работе [3] представлено решение установки кольцеобразных эластичных деталей различных размеров и материалов во внешние пазы деталей с использованием пальцев базового приспособления.

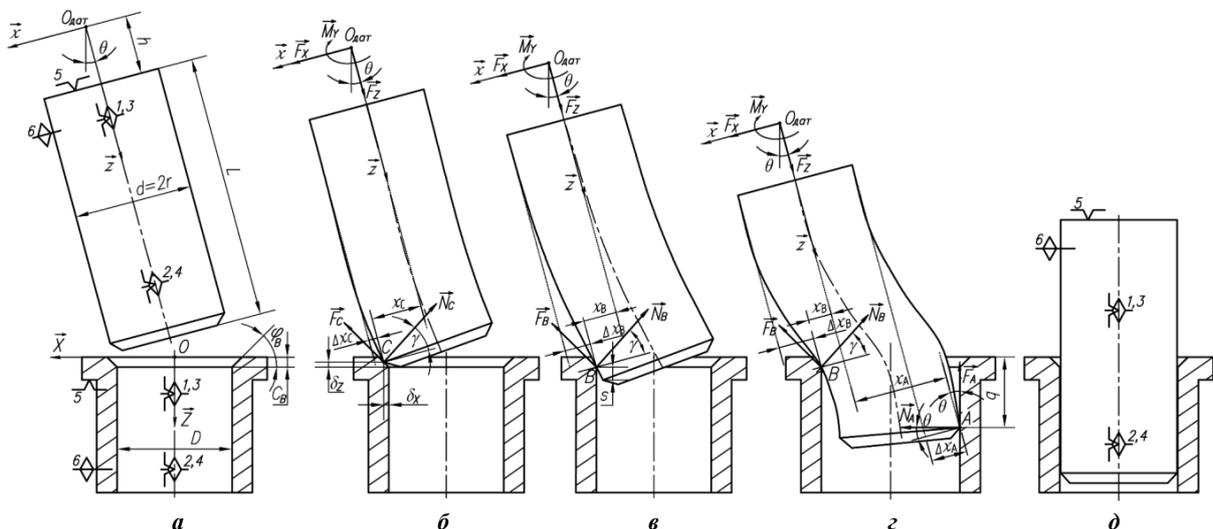


Рис. 1. Схема действия сил на этапах сопряжения: а – начало процесса сопряжения; б – контакт по фаскам; в – одноточечный контакт; г – двухточечный контакт; д – окончание процесса сопряжения

Приспособление просто в изготовлении и не требует датчиков, так как оснащено пневматическим схватом двойного действия с регулируемым усилием и специальными пальцами. Однако для реализации методов пассивной адаптации часто требуется создание дополнительных вспомогательных устройств, что может привести к дополнительным затратам. Методы активной адаптации основаны на адаптивном управлении с обратной связью, когда процесс сборки и положение деталей регулируются автоматически путем измерения положения и контактных усилий. В работе [4] предложена модель распределения контактных состояний с использованием меры подобия Гауссовых смесей для моделирования процессов роботизированной сборки гибких резиновых деталей с активным управлением. В работе [5] проведен анализ состояний контакта, анализ заклинивания и разработаны стратегии управления усилием для сборки гибкого вала со втулкой. В работах также исследуется взаимосвязь между силами и моментами в различных стадиях

деформации и анализируются состояния заклинивания. Однако эти работы ограничены анализом деформаций и в основном основываются на предварительном обучении. В работах [6, 7] представлена система визуального зондирования для измерения деформаций нежестких деталей во всех направлениях и перекосах в процессе сборки. Данная система состоит из камеры и ряда зеркал и может преодолеть ситуацию, когда отверстие перекрыто сопряженными деталями. Однако при плохом освещении и ограниченном пространстве система технического зрения может быть неэффективной. В контексте реализации стратегии широкое применение находит принцип упреждающего адаптивного управления с использованием силомоментных датчиков для контроля силы и положения.

В процессе установки нежесткого вала в жесткую втулку целесообразно рассмотреть три последовательные стадии процесса сопряжения (рис. 1): б – контакт по фаскам; в –одноточечный контакт; г – двухточечный контакт. Разработка математических моделей, определяющих условия контактного взаимодействия деталей на разных этапах процесса роботизированной сборки с зазором на основе модели определения величин деформаций нежестких валов при сопряжении. Возникающие силы и моменты могут быть рассчитаны из уравнений равновесия на этапах сопряжения (см. рис. 1). Задача решалась в квазистатической постановке.

Однако, при использовании силомоментного датчика показания снимаются в виде сил и моментов, направленных вдоль трех осей координат: ось $O_{дат}Z_{дат}$ направлена вдоль оси вала, а оси $O_{дат}X_{дат}$ и $O_{дат}Y_{дат}$ ей перпендикулярны и лежат в плоскости поперечного сечения оси вала. С силомоментного датчика фактически снимаются проекции вектора силы на оси координат F_{X1}, F_{Y1}, F_{Z1} , и проекции вектора момента M_{X1}, M_{Y1}, M_{Z1} [8].

На рис. 1 L – расстояние от торца вала до края схвата; h – расстояние от края схвата до центра силомоментного датчика; φ_B – угол фаски в отверстии втулки; θ – угол перекоса оси вала и втулки; γ – угол поворота поперечного сечения; $\Delta_{х,в,с}$ – соответственно прогиб вала в точках A, B, C ; C_B – высота фаски на сопрягаемых поверхностях; D – диаметр втулки; d – диаметр вала, d_o – диаметр отверстия вала; q – глубина сопряжения; μ – коэффициент трения; $\vec{F}_X, \vec{F}_Y, \vec{F}_Z, \vec{M}_Y$ – значения силы и моментов, полученные от силомоментного датчика; $\vec{R} : (O, X, Y, Z)$ – исходная (глобальная) система координат; $\vec{R}_l : (O_{дат}, x, y, z)$ – локальная система координат; $\vec{R}_o : (O, X', Y', Z')$ – система координат, которая постоянно связанная со втулкой и первоначально задается при настройке инструмента; $O_{дат}XZ$ – плоскость изгиба вала связанная с силомоментным датчиком.

Модуль \vec{F}_X, \vec{M}_Y можно определить как:

$$F_X = \sqrt{F_{X1}^2 + F_{Y1}^2}; M_Y = \sqrt{M_{X1}^2 + M_{Z1}^2}. \quad (1)$$

Предположим, что в результате расчетов установлено, что необходимо повернуть вал вокруг оси $O_{дат}Y_{дат}$ на угол поворота θ . Тогда с помощью направляющих косинусов данный поворот представим угловыми перемещениями вокруг осей $O_{дат}X_{дат}$ и $O_{дат}Y_{дат}$:

$$\theta_{X1} = \theta \cos(\vec{M}_Y, \vec{i}_1) = \theta \frac{M_{X1}}{M_Y}; \theta_{Y1} = \theta \cos(\vec{M}_Y, \vec{j}_1) = \theta \frac{M_{Y1}}{M_Y}. \quad (2)$$

Погрешность смещения определяется по координатам центра силомоментного датчика во взаимосвязи двух координат $OX'YZ'$ и $OXYZ$:

$$\Delta_\Sigma = |X_{O_{дат}}| = \sqrt{X'^2_{O_{дат}} + Y'^2_{O_{дат}}}; Z_{O_{дат}} = Z'_{O_{дат}}. \quad (3)$$

Предположим, что в результате расчетов необходимо переместить вал вдоль оси $O_{дат}X$ на величину Δ_Σ (проекция вектора перемещения на ось, которая может быть как отрицательной, так и положительной), тогда проекции вектора перемещения на оси $O_{дат}X_{дат}$ и $O_{дат}Y_{дат}$ определяются выражениями:

$$\Delta_{\Sigma X1} = \Delta_\Sigma \frac{F_{X1}}{F_X}; \Delta_{\Sigma Y1} = \Delta_\Sigma \frac{F_{Y1}}{F_X}. \quad (4)$$

На начальном этапе сборки, когда имеет место одноточечный контакт вала со втулкой, его можно рассматривать как консольно защемленный упругий стержень. Решение применимо для двух случаев: контакта по фаскам контакта и одноточечного контакта (рис. 1, б, в). Определено уравнение упругой линии изогнутого стержня [9, 10]:

$$x(z) = -\frac{M_Y}{F_Z} [1 - \cos k(z-h)] + \frac{F_X}{F_Z} \left[(z-h) - \frac{\sin k(z-h)}{k} \right]. \quad (5)$$

Угол поворота поперечного сечения будет равен:

$$\gamma(z) = x'(z) = -\frac{M_Y}{F_Z} k \sin k(z-h) + \frac{F_X}{F_Z} [1 - \cos k(z-h)], \quad (6)$$

где $k^2 = F_Z/EI_Y, I_Y = \pi d^4/64$.

Точка контакта находится на фаске втулки (рис. 1б). В точке контакта C возникает нормальная сила \vec{N}_C и сила трения \vec{F}_C . Уравнения равновесия имеют вид:

$$\begin{aligned} \sum F_{kZ} &= -N_C \sin \gamma - F_C \cos \gamma + F_Z = 0 & \sum F_{kX} &= -N_C \cos \gamma + F_C \sin \gamma + F_X = 0 \\ \sum M_{O_{дат}}(F_k) &= N_C(z_C \cos \gamma - x_C \sin \gamma) - F_C(z_C \sin \gamma + x_C \cos \gamma) - M_Y = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Абсцисса же точки C в локальной системе координат определяется из уравнения (5)

$$x_C = r - \left[-\frac{M_Y}{F_Z} (1 - \cos k(z_C - h)) + \frac{F_X}{F_Z} \left((z_C - h) - \frac{\sin k(z_C - h)}{k} \right) \right]. \quad (8)$$

Значение угла перекоса осей θ (рис. 1б) можно определить из выражения

$$\theta = \frac{X_{O_{дат}} - X_B + x_C + (Z_{O_{дат}} + z_C - C_B) \tan \varphi_B}{z_C - x_C \tan \varphi_B}. \quad (9)$$

На рис. 1, в показано состояние одноточечного контакта. В точке контакта B возникает нормальная сила \vec{N}_B и сила трения \vec{F}_B . Уравнения равновесия деформированного стержня под действием приложенных к нему сил и сил реакции в точке контакта B имеют вид:

$$\begin{aligned} \sum F_{kZ} &= -N_B \sin \gamma - F_B \cos \gamma + F_Z = 0 \\ \sum F_{kX} &= -N_B \cos \gamma + F_B \sin \gamma + F_X = 0 \\ \sum M_{O_{дат}}(F_k) &= N_B(z_B \cos \gamma - x_B \sin \gamma) - F_B(z_B \sin \gamma + x_B \cos \gamma) - M_Y = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Абсцисса же точки B в локальной системе координат определяется из уравнения (5)

$$x_B = r - \left[-\frac{M_Y}{F_Z} (1 - \cos k(z_B - h)) + \frac{F_X}{F_Z} \left((z_B - h) - \frac{\sin k(z_B - h)}{k} \right) \right]. \quad (11)$$

Значение угла перекоса θ (рис. 1в) можно определить из выражения

$$\theta = \frac{X_{O_{\text{дат}}} - X_B + x_C + (Z_{O_{\text{дат}}} + z_C - C_B) \tan \varphi_B}{z_C - x_C \tan \varphi_B}. \quad (12)$$

При двухстороннем контакте со втулкой вал можно рассматривать как упругий стержень, жестко заземленный на одном торце (в зоне схвата) и имеющий скользящее заземление на другом торце, подверженный продольно-поперечному изгибу от продольной сжимающей силы F_Z и изгибающего момента M_Y . Из решения методом начальных параметров задачи о продольно – поперечном изгибе упругого вала известно выражение для прогиба упругого вала в точке B [9, 10]:

$$\Delta x_B = x_0'' [1 - \cos k(z_B - h)] + x_0''' [k(z_B - h) - \sin k(z_B - h)] \quad (13)$$

При этом угол поворота поперечного сечения равен:

$$\gamma = x'(z_B) = x_0'' k \sin k(z_B - h) + k x_0''' [1 - \cos k(z_B - h)] \quad (14)$$

где

$$x_0'' = -\frac{(M_Y + x_B F_Z - z_B F_X) [(1 - \cos kq)(1 - \cos kL) - k \sin kq(kL - \sin kL)]}{F_Z k [2(1 - \cos kL) - kL \sin kL]}; \quad x_0''' = -\frac{(M_Y + x_B F_Z - z_B F_X) [(1 - \cos kL) \sin kq - \sin kL(1 - \cos kq)]}{F_Z k [2(1 - \cos kL) - kL \sin kL]}$$

На рис. 1, г при двухточечном контакте в точках контакта B и A возникают нормальные силы \vec{N}_B, \vec{N}_A и силы трения \vec{F}_B, \vec{F}_A .

Уравнения равновесия имеют вид:

$$\begin{aligned} \sum F_{kZ} &= -F_A \cos \theta - N_A \sin \theta - N_B \sin \gamma - F_B \cos \gamma + F_Z = 0 \\ \sum F_{kX} &= -F_A \sin \theta + N_A \cos \theta - N_B \cos \gamma + F_B \sin \gamma + F_X = 0 \\ \sum M_{O_{\text{дат}}}(F_k) &= F_A(z_A \sin \theta + x_A \cos \theta) - N_A(z_A \cos \theta - x_A \sin \theta) + \\ &+ N_B(z_B \cos \gamma - x_B \sin \gamma) - F_B(z_B \sin \gamma + x_B \cos \gamma) - M_Y = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Координата точки B в локальной системе координат определяется:

$$x_B = r - \Delta x_B; (z_B)_{1,2} = \frac{(z_{O_{\text{дат}}} - z_B \pm \sqrt{\Delta})}{2} \quad (16)$$

где $\Delta = (z_{O_{\text{дат}}} - z_B)^2 - 4[(X_{O_{\text{дат}}} - X_B)\theta_B^* + \theta_B^{*2}]$

Значение угла перекоса осей θ (рис. 1г) можно определить из выражения:

$$\theta = \frac{X_{O_{\text{дат}}} - X_B + x_B}{z_B} = \frac{X_{O_{\text{дат}}} - X_B + r - [x_0''(1 - \cos k z_B) + x_0'''(k z_B - \sin k z_B)]}{z_B} = \frac{\theta_B^*}{z_B} \quad (17)$$

где $\theta_B^* = X_{O_{\text{дат}}} - X_B + r - [x_0''(1 - \cos k z_B) + x_0'''(k z_B - \sin k z_B)]$

Координата точки A в локальной системе координат определяется:

$$x_A = z_A \theta + X_B - D - X_{O_{\text{дат}}}; z_A \approx \frac{(q - C_B)}{\theta} + \frac{(z_B - z_{O_{\text{дат}}} \pm \sqrt{\Delta})}{2} \quad (18)$$

Уравнение для определения коэффициента трения в случае двухточечного контакта:

$$N_A[z_A(\mu\theta - 1) + x_A(\mu + \theta)] + N_B[z_B(1 - \mu\gamma) - x_B(\gamma + \mu)] = M_Y \quad (19)$$

Условия заклинивания при роботизированной сборке с использованием силомоментного датчика задаются условиями [8]:

$$\begin{cases} \left| \frac{F_X}{F_Z} \right| < \frac{1 - \mu\gamma}{\gamma + \mu} \\ \left| \frac{M_Y}{rF_Z} + \left(\frac{k_{Z2}}{k_{Z1}} - \frac{k_{M2}}{k_{M1}} \right) \frac{k_{M1}}{r\Delta_0 k_{X1}} \frac{F_X}{F_Z} \right| < \left(\frac{k_{X2}}{k_{X1}} - \frac{k_{M2}}{k_{M1}} \right) \frac{k_{M1}}{r\Delta_0 k_{Z1}} \end{cases} \quad (20)$$

где

$$\Delta_0 = \frac{k_{X2}}{k_{X1}} - \frac{k_{Z2}}{k_{Z1}}; k_{Z1} = \mu + \theta; k_{Z2} = \gamma + \mu; k_{X1} = \mu\theta - 1; k_{X2} = 1 - \mu\gamma; k_{M1} = \mu(z_A\theta + x_A) - (z_A - x_A\theta); k_{M2} = (z_B - x_B\gamma) - \mu(z_B\gamma + x_B)$$

В работе предложена структурная схема системы управления роботом для сборки нежестких цилиндрических деталей интегрированная с системой распознавания контактного состояния (CS) на основе машины опорных векторов (SVM). Схема алгоритма включает в себя три основных блока: блок идентификатора, блок расчета значения отклонения и блок привода сборочного робота (рис. 2).

Робот запрограммирован на пошаговое перемещение вала с требуемой скоростью и траекторией. Сигнал рассогласования между программной траекторией и корректирующим воздействием, подаваемый контроллером, применяется для приведения робота к требуемому положению. Контроллер, используемый для управления манипулятором робота, реализует оригинальный алгоритм, представляющий собой П-контроллер.

Силомоментный датчик оценивает в режиме онлайн силы и моменты относительно трех осей $O_{\text{дат}}x_{\text{дат}}, O_{\text{дат}}y_{\text{дат}}$ и $O_{\text{дат}}z_{\text{дат}}$ на каждом шаге перемещения манипулятора робота. Выполняется сравнение значений по модулю $F_{X1}, Y1, Z1$ и F_K . Если $|F_{X1}, Y1, Z1| \leq F_K$ (F_K – сила, возникающая при контакте вала с фаской втулки), то робот продолжает перемещать вал на следующий программный шаг. В противном случае $|F_{X1}, Y1, Z1| > F_K$ значения сил и моментов подаются на блок «Идентификатор» для определения этапа процесса сопряжения.

Целью блока идентификации является использование сигналов силомоментного датчика и координат центра датчика для определения текущего состояния контакта. Для достижения данной цели в работе применена модель SVM. Идентификатор включает в себя следующие блоки: блок «обучения модели автономного обучения SVM» и блок «классификация контактного состояния».

В процессе роботизированной сборки информация о координатах центра датчика определяется системой управления робота и усилиях с силомоментного датчика преобразуются в шаблоны-векторы признаков и является входными данными для модели SVM. Модель SVM состоит из двух модулей: модуля для офлайн-обучения и модуля для онлайн-распознавания- классификации контактного состояния.

Векторы признаков x , представляющие состояние контакта, извлекаются и выбираются следующим образом: $x = [x_1, x_2] = [F_{X1}/M_{Y1}, Z_{O_{\text{дат}}}]$.

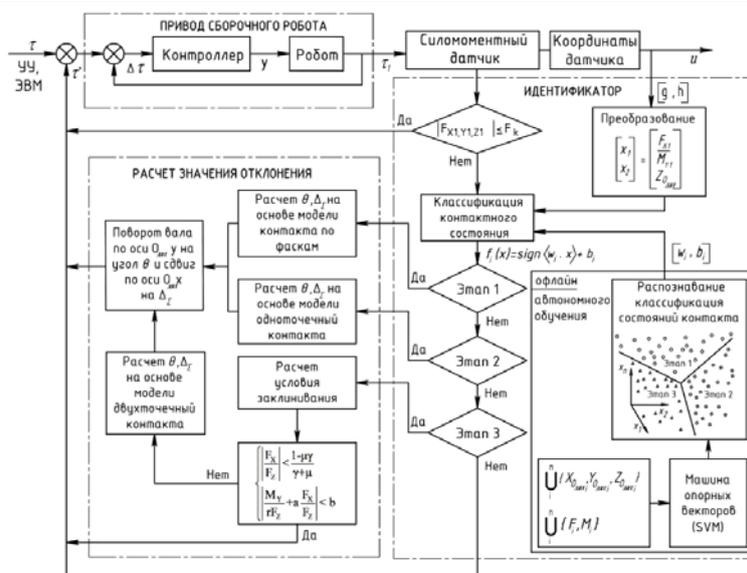


Рис. 2. Алгоритм управления процессом сопряжения соединения типа «нежесткий вал- жесткая втулка» при роботизированной сборке с силомоментным оучствлением: τ – задающее воздействие (программная траектория); y – сигнал управления двигателем; τ_1 – выходная координата привода; u – траектория перемещения присоединяемой детали; $h(F_i, M_i)$ – сигналы датчика сил и моментов; $g(X_{0\text{дат}}, Y_{0\text{дат}}, Z_{0\text{дат}})$ – координаты центра датчика; τ' – корректирующее воздействие, направленное на снижение значений сигнала рассогласования положения собираемых деталей

Граница принятия решения определяется выражением при решении модели SVM [11]:

$$f_i(x) = \text{sign}(\langle w_i, x \rangle + b_i); i = 1, 2 \quad (21)$$

В онлайн распознавании классификация контактного состояния выполняется во время сопряжения. При классификации этапа «1» выбирается функция $f_1(x)$ с выходными параметрами модели SVM после автономного обучения: $w_1 = [w_{11}, w_{12}]$ и b_1 .

Определяется гиперплоскость H_1 , разделяющая класс «+1» (этап 1) и класс «-1» (этапов 2-3):

$$\langle w_1, x \rangle + b_1 = 0 \quad (22)$$

В процессе сборки вектор $x = [x_1, x_2]$, представляющий каждый сигнал, полученный от робототехнической системы, классифицируется в класс «+1» гиперплоскости H_1 (этап 1), когда условие удовлетворено:

$$\langle w_1, x \rangle + b_1 > 0 \Rightarrow f_1(x) = \text{sign}(\langle w_1, x \rangle + b_1) = +1 \quad (23)$$

Для классификации этап 2- этап 3 выбирается функция $f_2(x)$ с выходными параметрами модели SVM после автономного обучения: $w_2 = [w_{21}, w_{22}]$ и b_2 .

Определяется гиперплоскость H_2 , разделяющая класс «+1» (этап 2) и класс «-1» (этап 3):

$$\langle w_2, x \rangle + b_2 = 0 \quad (24)$$

Сигнал $x = [x_1, x_2]$ определяется как принадлежащий классу «+1» гиперплоскости H_2 (этап 2), когда:

$$\begin{cases} \langle w_1, x \rangle + b_1 < 0 \Rightarrow f_1(x) = \text{sign}(\langle w_1, x \rangle + b_1) = -1 \\ \langle w_2, x \rangle + b_2 > 0 \Rightarrow f_2(x) = \text{sign}(\langle w_2, x \rangle + b_2) = +1 \end{cases} \quad (25)$$

Аналогично, сигнал $x = [x_1, x_2]$ определяется как принадлежащий классу «-1» гиперплоскости H_2 (этап 3), когда:

$$\begin{cases} \langle w_1, x \rangle + b_1 < 0 \Rightarrow f_1(x) = \text{sign}(\langle w_1, x \rangle + b_1) = -1 \\ \langle w_2, x \rangle + b_2 < 0 \Rightarrow f_2(x) = \text{sign}(\langle w_2, x \rangle + b_2) = -1 \end{cases} \quad (26)$$

Выходным сигналом блока «классификация контактного состояния» являются значения $f_i(x)$ (23÷26), которые определяются параметром w , b и сигналом $x = [x_1, x_2]$. При этом классификация контактного состояния на этапе процесса сопряжения и последующего управляющего сигнала определяется из условий:

- если $f_1(x) = +1$, то выполняется этап №1 (вычисляется значение угла θ и погрешности положения осей $\Delta\Sigma$).

Программа управления формирует сигнал роботу на поворот вала относительно оси $O_{\text{дат}y}$ на угол θ и сдвиг по оси $O_{\text{дат}x}$ на величину $\Delta\Sigma$;

- если $f_1(x) = -1, f_2(x) = +1$, то выполняется этап №2 (вычисляется значение угла θ и погрешности положения осей $\Delta\Sigma$). Программа управления формирует сигнал роботу на поворот вала относительно оси $O_{\text{дат}y}$ на угол θ и сдвиг по оси $O_{\text{дат}x}$ на величину $\Delta\Sigma$;

- если $f_1(x) = -1, f_2(x) = -1$, то выполняется этап №3, проверьте условия заклинивания (20). Если выполняется система неравенств, то робот продолжает опускать вал на следующий программный шаг. Если не выполняется система неравенств, то рассчитывается значение угла отклонения θ и погрешности положения осей $\Delta\Sigma$. Программа управления формирует сигнал роботу на поворот вала относительно оси $O_{\text{дат}y}$ на угол θ и сдвиг по оси $O_{\text{дат}x}$ на величину $\Delta\Sigma$;

- в остальных случаях, робот продолжает перемещать нежесткий вал на следующий программный шаг.

Сигналы с величинами значений сил, моментов и координат центра датчика, передаются в блок классификации CS (блок «Идентификатор») для обновления текущего CS. Данный цикл обрабатывается, пока вал не достигнет заданной глубины сопряжения.

Выполнена оценка эффективности разработанной модели SVM при соединении деталей до глубины $q = 50$ мм с формированием сигналов силы и момента с силомоментного датчика, которые являются тестовым сигналом (табл. 1).

Таблица 1

Выборка	Глубина [мм]	Этап	Модель SVM		
			Правильная классификация	Неправильная классификация	Процент точности классификации
Классификация CS: Этап 1 - Этап 2 (Общее количество образцов: 317)					
0÷79	0÷2	1	72	7	96,2%
80÷317	2÷5	2	233	5	
Классификация CS: Этап 2 - Этап 3 (Общее количество образцов: 2421)					
80÷317	2÷5	2	229	9	98,7%
318÷2500	5÷50	3	2160	23	

Для проведения экспериментов создана экспериментальная установка, оснащенная силомоментным датчиком FTN-AXIA80 SI500-20 Ethernet (рис. 3). Установка смонтирована на базе промышленного робота IRB-140T с контроллером IRC5. Сопрягаемые цилиндрические детали (нежесткий вал и втулка) жестко базируются в схвате робота 4 и сборочном приспособлении 7. Информация о возникающих в зоне сборки силах и моментах поступает в систему управления промышленного робота, а также регистрируется персональным компьютером 2.

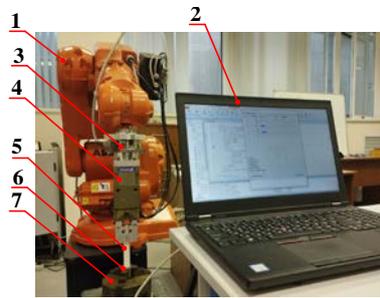


Рис. 3. Экспериментальная установка для исследования роботизированной сборки: 1 – промышленный робот ABB IRB 140T; 2 – персональный компьютер; 3 – силомоментный датчик FTN-AXIA 80 SI500-20; 4 – схват Schunk GSM-P 64 E-180; 5 – нежесткий вал; 6 – втулка; 7 – базовое приспособление

Вал изготавливался из пластика (литейный фторопласт-4) и имел внешний диаметр $d = 15,8$ мм. Втулка изготавливалась из стали 45. Сопряжение выполнялось с минимальным зазором 0,1 мм.

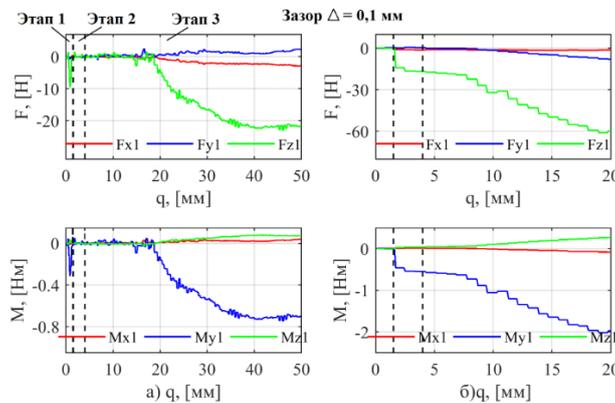


Рис. 4. Зависимость изменения вектора сил и моментов на трех этапах сопряжения: а – с применением алгоритма управления; б – при отсутствии алгоритма управления

На рис. 4 показано изменение сил и моментов, возникающих в процессе сборки с применением алгоритма управления и без него. На горизонтальной оси откладывались величины глубин сопряжения q . Главный вектор сборочной силы и момента представлен на вертикальной оси. На рисунке 4б (при отсутствии использования алгоритма) при глубине сопряжения $q=20$ мм наблюдается увеличение силы сборки до $F_{z1}=65,2$ Н и момента до $M_{y1}=2,01$ Нм. При увеличении глубины сопряжения сборочное усилие продолжает расти, что может привести к повреждению детали. Однако, с увеличением глубины сопряжения возникает заклинивание. В случае использования алгоритма (рис. 4а), сборочное усилие постепенно увеличивается на глубине от 18 до 35 мм, а затем начинает постепенно стабилизироваться (максимальное значение сборочного усилия $F_{z1}=22,08$ Н и $M_{y1}=0,71$ Нм). При применении алгоритма заклинивание исключается, усилие сборки снижается в 3 раза и увеличивается глубина сопряжения с 20 мм до 50 мм.

На рис. 5 и 6 представлены зависимости изменения значений параметров, характеризующих процесс сопряжения по глубине, включая координаты центра силомоментного датчика, углы отклонения и деформации в точках контакта. Установлено, что при использовании интеллектуальных алгоритмов в процесс сборки значения величин снижаются.

На рис. 5 показано изменение параметров сборки на этапах контакта по фаскам и при одноточечном контакте с зазором 0,1 мм. В числовые показатели отклонений включаются координаты центра силомоментного датчика и угол отклонения между осями детали, уменьшающийся с увеличением глубины сопряжения. Это способствует уменьшению величины деформации, включающей прогиб и угол поворота поперечного сечения в точке контакта.

На рис. 6 показаны закономерности изменения параметров процесса сопряжения при двухточечном контакте с зазором 0,1 мм, включая координаты центра силомоментного датчика, углы отклонения θ и деформации в точках контакта A и B . Наблюдается, что значения отклонений снижены до оптимального уровня и стабильны на всей глубине сопряжения. Уровень деформации в точках контакта также уменьшается до минимального значения и поддерживается на протяжении всего процесса сопряжения на глубину до 50 мм.

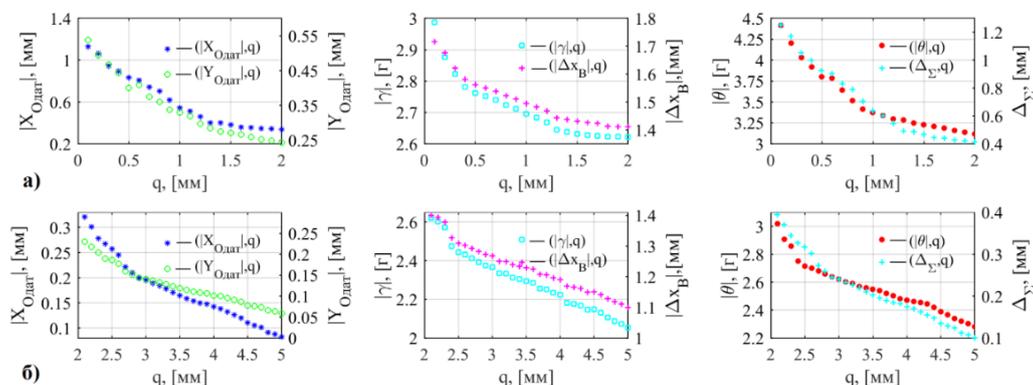


Рис. 5. Закономерности изменения координат центра силомоментного датчика, угла отклонения осей деталей θ и величин деформации в точке C, B : а – при контакте по фаскам; б – при одноточечном контакте

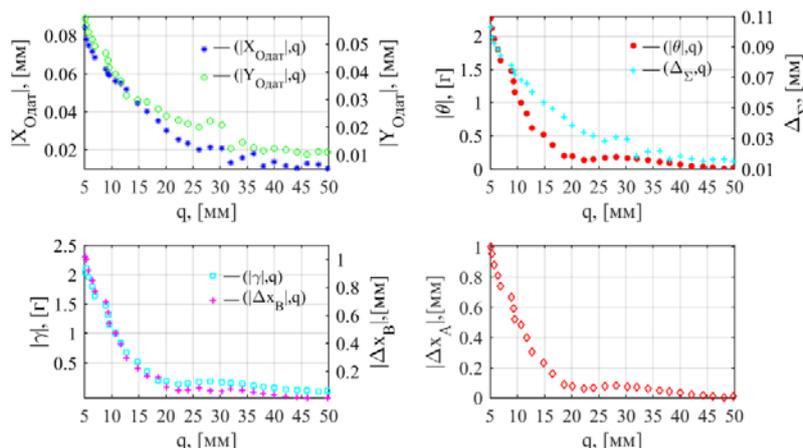


Рис. 6. Изменение координат центра силомоментного датчика, угла перекоса осей деталей и величины деформации в точке B и A при двухточечном контакте

Спланирован и проведен многофакторный эксперимент. Нежесткий вал изготавливался из различных видов пластика: фторопласта - 4 (Ф4, ГОСТ 10007-80); полиэтилена низкого давления (ПЭНД, ГОСТ 16338-85) и полипропилена (ПП, ГОСТ 26996-86). Втулки изготавливались из стали 45. При исследовании системы были приняты следующие входные параметры (табл. 2).

Таблица 2

Входные параметры	
Параметры	Обозначение
Скорость перемещения робота, мм/с	X_1
Зазор в соединении, мм	X_2
Толщина стенки вала, мм	X_3
Модуль упругости вала, МПа	X_4

В качестве целевой функции были выбраны компоненты сборочной силы и момента, измеряемые силомоментным датчиком. В качестве функции отклика, связывающей рациональный параметр с факторами процесса, были приняты уравнения степенного типа с достаточной точностью связывающие входные параметры с целевой функцией. В результате обработки результатов эксперимента были найдены зависимости сил и моментов от исследуемых факторов процесса роботизированной сборки:

$$F_{X1} = \frac{1,523X_1^{(0,24 \ln X_4 - 1,269)} X_2^{(0,117 \ln X_3 - 0,797)} X_3^{0,588}}{X_4^{0,41}} \quad (27)$$

$$F_{Y1} = \frac{0,0005X_1^{(1,964 - 0,238 \ln X_2)} X_4^{0,921}}{X_2^{(0,472 + 0,134 \ln X_4)} X_3^{0,015}} \quad (28)$$

$$F_{Z1} = \frac{65,82X_2^{(-0,887+0,17 \ln X_3)} X_3^{0,725}}{X_1^{(2,095-0,348 \ln X_4)} X_4^{0,618}} \quad (29)$$

$$M_{Y1} = \frac{0,084X_1^{(-3,938+0,306 \ln X_3+0,595 \ln X_4)} X_3^{0,312}}{X_2^{(4,069-0,289 \ln X_3-0,42 \ln X_4)} X_4^{0,259}} \quad (30)$$

Выражения (27) – (30) служат для определения составляющих силы, оказывающей воздействие на деталь при ее установке в процессе сборки. Уравнения предоставляют возможность построения номограмм, которые в свою очередь позволяют практически определять составляющие силы, влияющие на устанавливаемую деталь при выборе параметров процесса роботизированной сборки. На основе расчетов, проведенных в среде MatLab с использованием выражений (27) – (30), были определены локальные минимумы силы и момента (табл. 3).

Таблица 3

Значение локальных минимумов силы и момента

Минимумы	X ₁ , [мм/с]	X ₂ , [мм]	X ₃ , [мм]	X ₄ , [МПа]
F _{X1min} = 1,33 Н	10	0,14	2,1	500
F _{Y1min} = 1,19 Н	10	0,14	2,1	500
F _{Z1min} = 12,02 Н	10	0,14	2,1	500
M _{Y1min} = 0,21 Нм	10	0,14	2,1	500

На рис. 7 проиллюстрированы зависимости силы F_{Z1} от изменений входных параметров в процессе сборки.

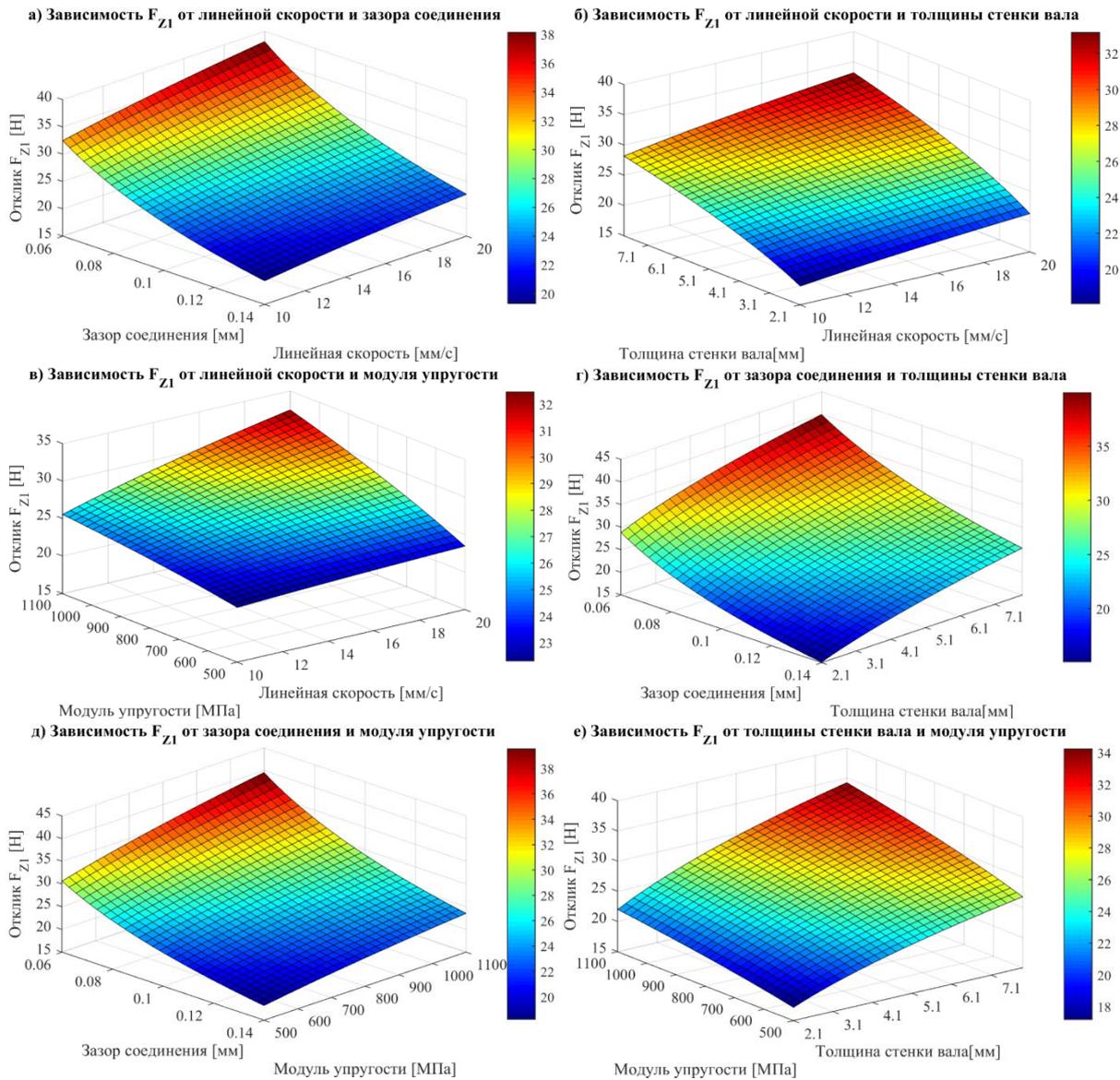


Рис. 7. Зависимость значения силы F_{Z1} от парных факторов при поддержании остальных факторов на основном уровне

Имеет место обратная-пропорциональная зависимость между сборочной силой и зазором в соединении. Сила F_{Z1} пропорциональна линейной скорости, толщине стенки вала и модулю упругости. Максимальное значение силы F_{Z1} составляет 40,05 Н, а минимальное значение – 15,17 Н (рис. 7, г).

Зазор в соединении оказывает значительное влияние на силу F_{Z1} : при увеличении зазора сила значительно уменьшается. Например, при малом зазоре максимальное значение составляет 40,05 Н, а при большом зазоре минимальное значение – 15,17 Н (рис. 7, г). Толщина стенки вала и модуль упругости также влияют на силу F_{Z1} . Уменьшение этих факторов приводит к уменьшению силы (рис. 7, б-е). Коэффициент жесткости при изгибе EI , который непосредственно влияет на усилие сборки, зависит от значений толщины стенки вала и модуля упругости ($I = \pi(d^4 - d_0^4)/64$; $t = (d - d_0)/2$). Чем больше значение EI , тем больше усилие сборки. Влияние линейной скорости на силу F_{Z1} отрицательно (рис. 7, а, б, в). Уменьшение линейной скорости, однако, приводит к увеличению времени сборки.

В рамках проведенных экспериментов в лаборатории «Средства автоматизации и промышленные роботы» Московского Политеха был изучен процесс сборки нежесткого вала с использованием алгоритма управления и без его применения (табл. 4, 5). Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что применение алгоритма управления способно существенно снизить сборочные силы и предотвратить заклинивание нежесткого вала при роботизированной сборке.

Таблица 4

Экспериментальные результаты при использовании алгоритма управления

Зазор соединения [мм]	Скорость робота [мм/с]	Толщина вала [мм]	Модуль упругости [МПа]	Глубина [мм]	Процент заклинивания [%]	Сила F_{Z1max} [Н]
0,06	10	7,9	500	50	0	28 ÷ 42
0,1	10	7,9	500	50	0	18 ÷ 32
0,14	10	7,9	500	50	0	14 ÷ 26

Таблица 5

Экспериментальные результаты при отсутствии алгоритма управления

Зазор [мм]	Скорость робота [мм/с]	Толщина вала [мм]	Модуль упругости [МПа]	Глубина [мм]	Процент заклинивания [%]	Сила F_{Z1max} [Н]
0,06	10	7,9	500	5...15	9	50 ÷ 90
				15...25	85	70 ÷ 120
				25...30	100	100 ÷ 150
0,1	10	7,9	500	5...15	6	40 ÷ 80
				15...25	76	60 ÷ 100
				25...30	100	90 ÷ 130
0,14	10	7,9	500	5...15	4	30 ÷ 60
				15...25	68	50 ÷ 80
				25...30	100	70 ÷ 110

В данном исследовании разработан адаптивный алгоритм на основе силомоментного очувствления для сборки нежестких цилиндрических деталей с небольшими зазорами. Данный алгоритм реализует корректировку траектории на основе измерения угла перекоса осей деталей и координат центра силомоментного датчика. В процессе проведения экспериментов удалось уменьшить сборочное усилие более чем в 3 раза. Величина деформации в точках контакта уменьшается, а глубина сопряжения увеличивается и предотвращается возникновение заклинивания.

Проведенные экспериментальные исследования позволили выявить влияние варьируемых параметров на составляющие сборочного усилия и момента при проведении сборки пластикового вала с применением алгоритма управления. В ходе исследования были определены экспериментальные зависимости, описывающие взаимосвязь между компонентами силы и момента с варьируемыми параметрами. Более того, экспериментальная модель продемонстрировала высокую адекватность, что свидетельствует о достоверности и надежности полученных результатов.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии роботизированной сборки и при создании программного обеспечения для автоматического сборочного оборудования. Оригинальность разработанного программного обеспечения защищена свидетельством о регистрации программного продукта [15].

Список литературы

- Jiang J. State-of-the-Art control strategies for robotic PiH assembly / J. Jiang, H. Zhiyuan, B. Zhuming, M. Xuefeng, Y. Guang // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2020. vol. 65. p. 201–219. doi: 10.1016/j.rcim.2019.101894.
- Fukukawa T. Assembly algorithm for plastic ring with characteristic finger shape / T. Fukukawa, T. Takahashi, T. Fukuda // IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). 2012. p. 470–475. doi: 10.1109/SII.2012.6426956.
- Monguzzi A. Flexible robotic strategy for the assembly of ring-shaped elastic objects / A. Monguzzi, M. Maiocchi, A.M. Zanchettin, P. Rocco // 3rd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing. 2022. vol. 200. p. 376–385. doi: 10.1016/j.procs.2022.01.236.
- Jasim I.F. Contact-state modelling in force-controlled robotic peg-in-hole assembly processes of flexible objects using optimised Gaussian mixtures / I.F. Jasim, P.W. Plapper, H. Voos // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2015. vol. 231. no. 8. p. 1448–1463. doi: 10.1177/0954405415598945.
- Zhang K. Jamming Analysis and Force Control for Flexible Dual Peg-in-hole Assembly / K. Zhang, J. Xu, H. Chen, J. Zhao, K. Chen // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2019. vol. 66. no. 3. p. 1930–1939. doi: 10.1109/TIE.2018.2838069.
- Kim J.Y. A visual sensing system for measuring parts deformation and misalignments in flexible parts assembly / J.Y. Kim, H.S. Cho, S. Kim // Optics and Lasers in Engineering. 1998. no. 5. vol. 30. p. 379–401. doi:10.1016/S0143-8166(98)00039-6.

7. Cho H.S. Vision Based Part shape and Misalignment measurement in Cylindrical Peg in hole Tasks / H.S. Cho, J.Y. Kim // Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2005. vol. 11. no. 7. p. 615–620.

8. Диаграмма заклинивания нежестких цилиндрических деталей при роботизированной сборке на основе применения позиционно силового управления / М.В. Вартанов, Е.А. Коган, Нгуен Ван Линь, Дао Ван Луу // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып.11. С. 656–664.

9. Вартанов М.В., Нгуен Ван Линь. Определение значений деформации нежестких валов при одноточечном контакте в условиях роботизированной сборки с использованием силомоментного датчика // Материалы VIII международного научно-технического семинара «Современные технологии сборки». 2023. С. 65–78.

10. Коган Е.А., Вартанов М.В., Нгуен Ван Линь. Математические модели деформирования нежестких деталей при роботизированной сборке // Журнал «СТИН». 2022. №.12(2). С.40–44.

11. Вартанов М.В., Нгуен Ван Линь. Распознавание состояний контакта нежестких цилиндрических деталей при роботизированной сборке на основе машины опорных векторов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2024. №1. С. 3–10.

12. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023687744 «Программа управления роботизированной сборкой для обеспечения технологической надежности сборки цилиндрических нежестких деталей на основе сигналов силомоментного датчика» / Вартанов М.В., Нгуен Ван Линь. Дата регистрации 18.12.2023.

Нгуен Ван Линь, аспирант, nguyenlinh.hvktqs@gmail.com, Россия, Москва, Московский политехнический университет

IMPROVING THE TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF A ROBOTIC ASSEMBLY OF CYLINDRICAL NON-RIGID PARTS BASED ON THE DEVELOPMENT OF ROBOT CONTROL ALGORITHM

Nguyen Van Linh

When developing robotic assembly technology, it is necessary to use intelligent algorithms that control the assembly process online. One of the tasks that has been little studied so far is the assembly of cylindrical non-rigid parts. Mathematical models of coupling stages during robotic assembly have been developed, which are necessary for identification of signals from a force-moment sensor. A model is proposed for determining the nature of the deformation of the part based on the identification of output signals from a force-moment sensor. The obtained analytical solutions make it possible to determine the conditions for the occurrence of jamming of the elastic shaft during two-point contact during the coupling of the shaft with a rigid sleeve. The obtained values of deflections and angles of rotation allow you to correct the movement of the output link of the robot during the assembly operation. A mathematical model is presented for solving the problem of determining the current contact state (CS) during assembly using the support vector machine (SVM) method when obtaining information about the position coordinates by the control system of an industrial robot and forces from a force-torque sensor. The algorithm was tested on an industrial robot IRB-140 with an IRC5 controller equipped with a FTN-AXIA80 SI500-20 Ethernet power-torque sensor from Schunk.

Key words: robotic assembly, non-rigid shaft, force-torque sensor, deformation values, support vectors, jamming conditions, control algorithm.

Nguyen Van Linh, postgraduate, nguyenlinh.hvktqs@gmail.com, Russia, Moscow, Moscow Polytechnic University

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ СМАЗОЧНЫХ КАНАВОК ПРИ ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЧАСТИЧНО РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

А.В. Королев, А.А. Королев, В.В. Жалнин

В статье представлена математическая модель формирования смазочных канавок дискретного микрорельефа с замкнутым контуром на поверхности тела вращения, полученного протягиванием без скольжения абразивной ленты между обрабатываемой поверхностью и прижимным роликом. Использован вероятностный подход к моделированию с учетом случайных значений глубины отпечатка и случайного числа отпечатков от абразивных зерен на обрабатываемой поверхности. Установлена зависимость плотности вероятностей распределения значений площади отпечатков от зерен на обрабатываемой поверхности, математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение этой величины от плотности вероятности распределения глубин и числа смазочных канавок на обрабатываемой поверхности, которые в свою очередь зависят от зернистости абразивной ленты, силы ее прижима к обрабатываемой поверхности, твердости обрабатываемого материала, упругости материала ленты и других факторов.

Ключевые слова: поверхность, микрорельеф, дискретный микрорельеф, абразивная лента, абразивные зерна.

Постановка проблемы. Известны многочисленные методы, способы и устройства для формирования регулярного микрорельефа на поверхности деталей, направленные на удержание в рабочей зоне контактирующих деталей смазки и на уменьшение трения и износа поверхностей [1-18]. Недостатком многих из этих разработок является сложность практической реализации и сложность удержания жидкой или пластичной смазки в рабочей зоне, особенно в случаях, когда контур масляных канавок не является замкнутым и смазка под действием рабочей нагрузки может свободно выдавливаться из масляных канавок. Для решения указанной проблемы авторы предложили простой в реализации способ нанесения дискретного микрорельефа с замкнутыми канавками путем протягивания инструмента в виде абразивной ленты между обрабатываемой поверхностью и прижимным роликом. Способ очень прост в осуществлении, не требует сложного оборудования и оснастки. В результате такой обработки на обрабатываемой поверхности остаются углубления от абразивных зерен, которые затем заполняются твердой смазкой в виде графита или молибдена. Так как поверхность углублений, образованных абразивными зернами, является шероховатой, то твердая смазка прочно удерживается в этих углублениях даже при значительных контактных напряжениях. Это обеспечивает снижение трения и износа контактирующих поверхностей.

В предыдущей статье авторов [19] был подробно описан предложенный способ нанесения дискретного микрорельефа на поверхность тел вращения и рассмотрена вероятностная математическая модель формирования углублений от абразивных зерен в процессе обработки. Однако осталась нерешенной проблема формирования опорной поверхности твердой смазки, заполняющей смазочные канавки, которая возьмет на себя часть внешней нагрузки, воздействующей на зону контакта деталей. На решение этой проблемы и направлена данная статья.

Цель статьи. В статье приводится вероятностная математическая модель формирования поверхности смазочных канавок в процессе протягивания инструмента в виде абразивной ленты между обрабатываемой поверхностью и прижимным роликом, что позволяет определить опорную поверхность твердой смазки после заполнения ею смазочных канавок.

Изложение основного материала. На рис. 1 приведена схема углубления, оставленная случайным абразивным зерном на обрабатываемой поверхности после протягивания инструмента между обрабатываемой поверхностью и прижимным роликом.

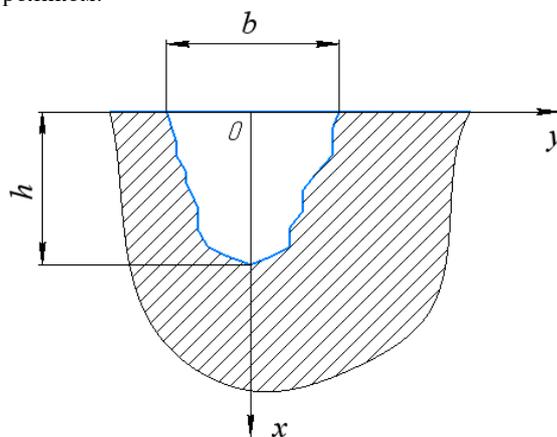


Рис. 1. Схема смазочной канавки, оставленной на поверхности абразивным зерном

Проведем декартову систему координат. Ось OX направим от поверхности в сторону смазочных канавок, ось OY направим вдоль поверхности. Тогда площадь отпечатка зерна на обрабатываемой поверхности равна:

$$s = \frac{\pi}{4} b^2 = \frac{\pi}{4} k_z^2 \cdot h^2, \quad (1)$$

где s - площадь отпечатка на обрабатываемой поверхности от абразивного зерна, мм; b - ширина смазочной канавки, мм; h - глубина смазочной канавки, мм; k_z - коэффициент пропорциональности между шириной смазочных канавки и ее глубиной ($k_z \cong 3,8$).

Плотность вероятностей случайной величины h , как показано в [19], соответствует равенству:

$$g(h) = \frac{\psi'(h)}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma_z} \cdot F(d_k, d_m)} e^{-\frac{(\psi(h)-d_o)^2}{2\pi \cdot \sigma_z^2}}, \quad (2)$$

где $g(h)$ - плотность вероятностей распределения значений глубин смазочных канавок h , оставленных абразивными зёрнами на обрабатываемой поверхности, мм⁻¹; $\psi(h)$ - функция, обратная по отношению к $h(d)$:

$$h(d) = \frac{d - c + \lambda}{1 + k \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot HV}{13,64 \cdot E \cdot k_{\lambda,r}} (1 - \mu^2)}},$$

σ_z - среднее квадратическое отклонение рассеивания размеров, абразивных зёрен, находящихся на поверхности инструмента, мм; $F((c + \lambda), d_m)$ - вероятность появления на обрабатываемой поверхности углублений от абразивных зёрен, численно равная доли абразивных зёрен, находящихся на рабочей поверхности абразивной инструмента, оставивших свой след на обрабатываемой поверхности; d_k, d_m - соответственно минимальный и максимальный размер абразивных зёрен, которые могут вступить в контакт с обрабатываемой поверхностью, мм ($d_k = (c + \lambda)$); c - расстояние между рабочей поверхностью накатного ролика и обрабатываемой поверхностью детали, мм; λ - толщина подложки абразивной ленты, мм; E - модуль упругости связки, МПа; μ - коэффициент Пуассона материала связки; HV - твердость материала детали HV , МПа; $k_{\lambda,r}$ - коэффициент, зависящий от соотношения толщины слоя связки λ и радиуса режущей кромки абразивного зерна λ/r ($k_{\lambda,r} \cong 20$).

Плотность вероятностей распределения случайной величины s определяется равенством:

$$f_s(s) = g(\psi(s)) \cdot |\psi'(s)|, \text{ мм}^{-2}, \quad (3)$$

где $g(\psi(s))$ - плотность вероятностей распределения величины $\psi(s)$, определяемой из (1);

$$\psi(s) = \frac{2}{k_z} \sqrt{\frac{s}{\pi}}, \quad \text{а } \psi'(s) = \frac{1}{k_z} \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot s}}. \quad (4)$$

Тогда

$$f_s(s) = \frac{1}{k_z} \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot s}} \cdot g\left(\frac{2}{k_z} \sqrt{\frac{s}{\pi}}\right). \quad (5)$$

Математическое ожидание площади смазочных канавок от абразивных зёрен на обрабатываемой поверхности равно:

$$s_o = \int_0^{h_m} t \cdot f_s(t) dt = \int_0^{h_m} \sqrt{t} \frac{1}{k_z} \sqrt{\frac{1}{\pi}} g\left(\frac{2}{k_z} \sqrt{\frac{t}{\pi}}\right) dt, \quad (6)$$

а дисперсия:

$$\sigma_s^2 = \frac{1}{k_z} \sqrt{\frac{1}{\pi}} \int_0^{h_m} \frac{(t-s_o)^2}{\sqrt{t}} g\left(\frac{2}{k_z} \sqrt{\frac{t}{\pi}}\right) dt, \quad (7)$$

где t - текущее значение величины s , мм²; h_m - максимальная глубина смазочных канавок, мм.

Как видно из выражений (5) - (7), распределение площади смазочных канавок от зёрен зависит от максимальной глубины смазочных канавок и от плотности вероятностей распределения абразивных зёрен на поверхности инструмента.

Предположим, что на единице обрабатываемой поверхности находится z смазочных канавок. Тогда с учетом (1) площадь всех смазочных канавок, находящихся на единице поверхности, будет равна:

$$\eta = s \cdot z = \frac{\pi}{4} k_z^2 \cdot (h_i)^2 \cdot z. \quad (8)$$

После заполнения смазочных канавок твердой смазкой величина η будет представлять собой относительную площадь опорной поверхности твердой смазки.

Но величины s и z являются случайными величинами. Плотность вероятностей величины s , как было показано выше, соответствует выражению (5). Распределение числа смазочных канавок по обрабатываемой поверхности, по всей вероятности, соответствует закону Пуассона. Как известно, математическое выражение закона Пуассона имеет вид:

$$H_z = \frac{z_o^{z-1}}{(z-1)!} e^{-z_o}, \quad (9)$$

где H_z - вероятность того, что на единице поверхности детали имеется Z смазочных канавок ($z=1,2,3,\dots$); z_0 - математическое ожидание числа смазочных канавок на единице обрабатываемой поверхности, шт./мм², равное

$$z_0 = z_{d0} \cdot F((c + \lambda), d_m),$$

z_{d0} - математическое ожидание числа абразивных зерен на единице поверхности инструмента, шт./мм².

На основе формулы полной вероятности и равенств (5) и (9) вероятность осуществления события, состоящего в появлении на единице обрабатываемой поверхности числа смазочных канавок, имеющих суммарную относительную площадь η , равна:

$$f_\eta(\eta) = \sum_{z=1}^{z_m} f_s(s) \cdot H_n = \sum_{n=1}^{z_m} \frac{1}{k_z} \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot s}} g\left(\frac{2}{k_z} \sqrt{\frac{s}{\pi}}\right) \frac{z_0^{z-1}}{(z-1)!} e^{-z_0} = \frac{1}{k_z} \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot s}} g\left(\frac{2}{k_z} \sqrt{\frac{s}{\pi}}\right) \cdot e^{-z_0} \sum_{n=0}^{z_m} \frac{z_0^{z-1}}{(z-1)!}, \quad (10)$$

где z_m - максимально возможное число смазочных канавок на единице обрабатываемой поверхности, шт./мм².

Математическое ожидание и СКО случайной суммы площадей η смазочных канавок на единице обрабатываемой поверхности:

$$\begin{cases} \eta(x) = s(x) \cdot z_0 \\ \sigma_\eta = \sigma_s(x) \cdot z_0 \end{cases} \quad (11)$$

Фактически равенство (11) представляет собой математическое ожидание и СКО относительной опорной поверхности твердой смазки, которая появится после заполнения смазочных канавок твердой смазкой. Как видно из равенства (11), характер распределения площади смазочных канавок от зерен на поверхности дискретного микрорельефа, довольно сложный. Он зависит от максимальной глубины смазочных канавок h_m , от функции $\psi(h)$, которая, в свою очередь, зависит от модуля упругости связки E , твердости H_v , коэффициента Пуассона μ материала обрабатываемой поверхности, коэффициента формы зерен k_z , от силы прижима ролика к абразивной ленте и других факторов. Поэтому численный анализ влияния различных факторов на относительную опорную поверхность твердой смазки требует специального рассмотрения.

Список литературы

1. Колыбенко, Е. Н. Принципы подхода к определению технологической элементной базы средств автоматизации для подготовки производства механообработки по всему ее циклу / Е. Н. Колыбенко // Справочник. Инженерный журнал. – 2021. – № 11(296). – С. 43-51. – DOI 10.14489/hb.2021.11.pp.043-051.
2. Danilov V. Laser technologies in the formation of harmonic lenses microreliefs//Journal of Physics Conference Series, 1368(2):022081, 2019, pp 1-7. DOI:10.1088/1742-6596/1368/2/022081
3. Burov, V. G. Technological Aspects of Forming the Surface Microrelief of Low-Wear Coatings after Electro-Diamond Grinding / V. G. Burov, V. V. Yanpolskiy, K. Kh. Rakhimyanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 7, Kemerovo, 23–25 сентября 2015 года. – Kemerovo, 2016. – P. 012018. – DOI 10.1088/1757-899X/126/1/012018.
4. Кудинов, Е. А. Оптимизация параметров вибрационного точения при формировании регулярного микрорельефа поверхности / Е. А. Кудинов, А. А. Владимиров // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : Материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 20–21 апреля 2023 года. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2023. – С. 137-138.
5. Влияние условий многоконтактной виброударной обработки на формирование микрорельефа поверхности обрабатываемой детали / Г. А. Прокопец, Е. П. Мельникова, П. В. Даценко, А. Буров // Современные тенденции развития инструментальных систем и металлообрабатывающих комплексов : Сборник трудов научно-технической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации, доктора технических наук, профессора А.А. Рыжкина, Ростов-на-Дону, 21 января 2021 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. – С. 141-145.
6. Формирование регулярного микрорельефа на поверхности деталей выглаживанием с наложением низкочастотных маятниковых колебаний / А. А. Владимиров, А. Н. Афонин, А. В. Макаров, Е. Г. Кабулова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2020. – № 6(344). – С. 45-50. – DOI 10.33979/2073-7408-2020-344-6-45-50.
7. Данилов В.А. Лазерные технологии в формировании микрорельефов гармонических линз / В.А. Данилов // Сборник трудов ИТНТ-2019 [Текст] : V междунар. конф. и молодеж. шк. "Информ. технологии и нанотехнологии" : 21-24 мая : в 4 т. / Самар. нац.-исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т), Ин-т систем. обраб. изобр. РАН-фил. ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" РАН ; [под ред. Р. В. Скиданова]. - Самара: Новая техника, 2019. - Т. 1 : Компьютерная оптика и нанофотоника. - 2019. - С. 714-722.
8. Пегашкин, В. Ф. Образование регулярного микрорельефа поверхностного слоя детали при УЗВК / В. Ф. Пегашкин, Г. А. Осипенкова // Сварка. Реновация. Триботехника : Материалы IX Уральской научно-практической конференции, Нижний Тагил, 21 января 2019 года / Министерство науки и высшего образования РФ; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»; Нижнетагильский технологический институт (филиал); Редколлегия: В. А. Коротков, В. Ф. Пегашкин, Е. Н. Сафонов. – Нижний Тагил: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2019. – С. 166-170.

9. Технология нанесения регулярного микрорельефа на поверхность отверстия / А. А. Киселев, Л. Р. Милованова, М. В. Стекольников, И. А. Чельшева // Молодежь и XXI век - 2019 : материалы IX Международной молодежной научной конференции, Курск, 21–22 февраля 2019 года. Том 5. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2019. – С. 117-120.
10. Авдеев, Д. О. К вопросу о влиянии регулярного микрорельефа (РМР) рабочей поверхности инструмента на качество обработанной поверхности детали / Д. О. Авдеев, Д. В. Евсеев, А. А. Бекаев // XXX Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2018) : Сборник трудов конференции, Москва, 20–23 ноября 2018 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благоданова Российской академии наук, 2019. – С. 232-235.
11. Кузнецов В.П. Финишная технология формирования износостойких поверхностей выглаживанием и деформирующим профилированием при многоцелевой обработке деталей : учебное пособие / В.П. Кузнецов, О.В. Дмитриева, В.Г. Горгоц ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Курганский государственный университет. - Курган : Издательство Курганского государственного университета, 2022. - 89, [1] с.: ил., табл. - Библиогр. с. 81-88. - ISBN 978-5-4217-0630-4.
12. Довгалев А.М., Тарадейко И.А., Тарадейко М.В. Получение регулярного микрорельефа на поверхности деталей при совмещенном магнитно-динамическом накатывании // Сборник трудов конференции: «Актуальные проблемы науки и техники» : Материалы I Международной научно-технической конференции. Ижевск, 2021. С. 147-151.
13. Башмур К.А. Технологии микрорельефа для опор скольжения нефтегазового оборудования [Текст]. / К.А. Башмур, Ю.Н. Шадчина. // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: сб. статей. – Пермь, 2019. 78-80 с.
14. Авторское свидетельство № 1466917 А1 СССР, МПК В24В 39/04. Устройство для виброобкатывания : № 4176246 : заявл. 05.01.1987 : опубл. 23.03.1989 / А. П. Бородин, Б. Н. Букин, Ю. Г. Шнейдер ; заявитель Ленинградский институт точной механики и оптики.
15. Авторское свидетельство № 1493444 А1 СССР, МПК В24В 39/00. Способ образования поверхности трения : № 4284417 : заявл. 15.07.1987 : опубл. 15.07.1989 / Ю. Г. Шнейдер, А.В. Радионенко, Я.С. Фельдман, А.П. Бородин; заявитель Ленинградский институт точной механики и оптики.
16. Патент на полезную модель № 24410 U1 Российская Федерация, МПК В24В 39/00. Устройство для чистовой обработки поверхностным пластическим деформированием сложно-фасонных поверхностей : № 2002103891/20 : заявл. 11.02.2002 : опубл. 10.08.2002 / В. М. Сорокин, В. В. Берглезов, Е. А. Тарасова, С. С. Танчук.
17. Патент на полезную модель № 64126 U1 Российская Федерация, МПК В24В 39/00. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки трущихся поверхностей деталей машин : № 2007105532/22 : заявл. 13.02.2007 : опубл. 27.06.2007 / В. М. Сорокин, А. В. Михеев, С. С. Танчук [и др.].
18. Патент на полезную модель № 113686 U1 Российская Федерация, МПК В24В 39/00. устройство для вибрационной обработки поверхностей : № 2011133805/02 : заявл. 11.08.2011 : опубл. 27.02.2012 / Н. В. Ермольчева, Б. С. Орлов, А. В. Королев ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный технический университет" (СГТУ).
19. Королев, А.А. Определение числовых параметров процесса формирования дискретного микрорельефа на поверхностях коллектора / А. А. Королев, А. В. Королев, В. В. Жалнин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 415-420. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-7-415-416.

Королев Альберт Викторович, д-р техн. наук, профессор, rektorat@sstu.ru, Россия, Саратов, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,

Королев Андрей Альбертович, д-р техн. наук, профессор, Россия, Саратов, Саратовская государственная юридическая академия,

Жалнин Владислав Валерьевич, аспирант, zhalninvv97@gmail.com, Россия, Саратов, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

DETERMINATION OF THE SURFACE AREA OF DEPRESSIONS DURING THE FORMATION OF A PARTIALLY REGULAR MICRORELIEF ON CYLINDRICAL SURFACES

A.V. Korolev, A.A. Korolev, V.V. Zhalnin

The article presents a mathematical model for the formation of lubrication grooves of a discrete microrelief with a closed contour on the surface of a body of rotation, obtained by pulling an abrasive belt without sliding between the treated surface and the pressure roller. A probabilistic approach to modeling was used, taking into account random values of the indentation depth and a random number of indentations from abrasive grains on the surface being processed. The dependence of the probability density of the distribution of values of the area of imprints from grains on the treated surface, the mathematical expectation and standard deviation of this value from the probability density of the distribution of depths and the number of lubrication grooves on the treated surface, which in turn depend on the grain size of the abrasive tape, the force of its pressing to the treated surface, have been established. surface, hardness of the material being processed, elasticity of the tape material and other factors.

Key words: surface, microrelief, discrete microrelief, abrasive belt, abrasive grains.

Korolev Albert Victorovich, doctor of technical sciences, professor, rektorat@sstu.ru, Russia, Saratov, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin,

Korolev Andrey Albertovich, doctor of technical sciences, professor, Russia, Saratov, Saratov State Law Academy,

УДК 629.488.27

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-464-465

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

А.Н. Шмойлов, А.Л. Золкин

Настоящая статья посвящена вопросам совершенствования процесса технической диагностики электрических машин железнодорожного подвижного состава: электрогенераторов пассажирских вагонов, тяговых электродвигателей локомотивов, моторвагонов электропоездов. В работе выделены важнейшие факторы, оказывающие значительное влияние на появление неисправностей электрических машин в эксплуатации. Предложена структурная схема нового стенда для испытания электрических машин подвижного состава. Было проведено исследование влияния температуры поверхности электрической машины на возникновение предотказного состояния всего технического устройства. Составлен график зависимости температуры поверхности электрической машины подвижного состава и ее технического состояния.

Ключевые слова: техническая диагностика, стенд для испытания электрических машин, электрический двигатель, вибрационные воздействия, температура поверхности.

Повышение надежности электрических машин подвижного состава – является важной задачей эксплуатационного и ремонтного комплекса железнодорожного транспорта. Установлено, что увеличение срока службы и повышение надежности дают относительно больший экономический эффект, чем снижение удельного расхода материалов при изготовлении электрических машин [1].

В процессе эксплуатации подвижного состава, под действием разных факторов выходят из строя различные электрические машины: электрогенераторы пассажирских вагонов, тяговые электродвигатели локомотивов и моторвагонов электропоездов.

В пассажирском вагонном депо выполняется большой перечень работ по поддержанию работоспособного и исправного состояния узлов вагона [2].

Важнейшим фактором, оказывающим значительное влияние на появление неисправностей электрических машин в эксплуатации является некачественный ремонт и послеремонтные испытания без учета внешних факторов, в частности вибраций, возникающих от неровностей пути при движении подвижного состава.

Решением данной проблемы является разработка установок и стендов для испытания высокооборотных электрических машин подвижного состава при воздействии регулируемых динамических нагрузок и вибраций, изменяющихся по заданному закону.

С целью разработки стенда для испытания электрических машин подвижного состава были рассмотрены различные технические решения.

Наиболее близким техническим решением является стенд для испытаний высокооборотных электрических машин [3].

Недостатком данного стенда является то, что он не предоставляет возможности проведения динамических вибрационных испытаний электрических машин, имитирующих воздействие динамических сил, возникающих при движении подвижного состава железнодорожного транспорта.

Данные недостатки были устранены в ходе разработки стенда для испытания электрических машин подвижного состава.

Техническим результатом данного стенда является расширение функциональных возможностей существующего испытательного стенда, за счет введения в конструкцию исполнительных устройств дополнительного вибрационного воздействия, имитирующего динамическое воздействие неровностей пути на электрические машины при эксплуатации подвижного состава.

Следует отметить, что в стенд для испытания высокооборотных электрических машин дополнительно введены датчик скорости вращения вала, две группы клемм, опорная станина с датчиком перемещения, который соединен с блоком диагностики и защиты, синусный механизм, электропривод с датчиком частот, блок управления и питания, блок преобразования сигналов, причем на опорной станине размещены испытуемая высокооборотная электрическая машина, нагрузочный генератор, и дополнительно установлена опорная станина, которая соединена с блоком вынужденных колебаний для динамических нагрузок стенда, который соединен с синусным механизмом, который установлен на валу электропривода, на котором так же установлен и датчик скорости электропривода, причем блок преобразования сигналов, блок управления и питания соединен с устройством ввода и вывода информационных и управляющих сигналов [4].

В конструкцию нового стенда предлагается внедрить датчик температуры силовой обмотки, датчик температуры переднего подшипника, датчик температуры заднего подшипника и датчик температуры корпуса.

Общий вид структурной схемы данного стенда приведен на рисунке 1.

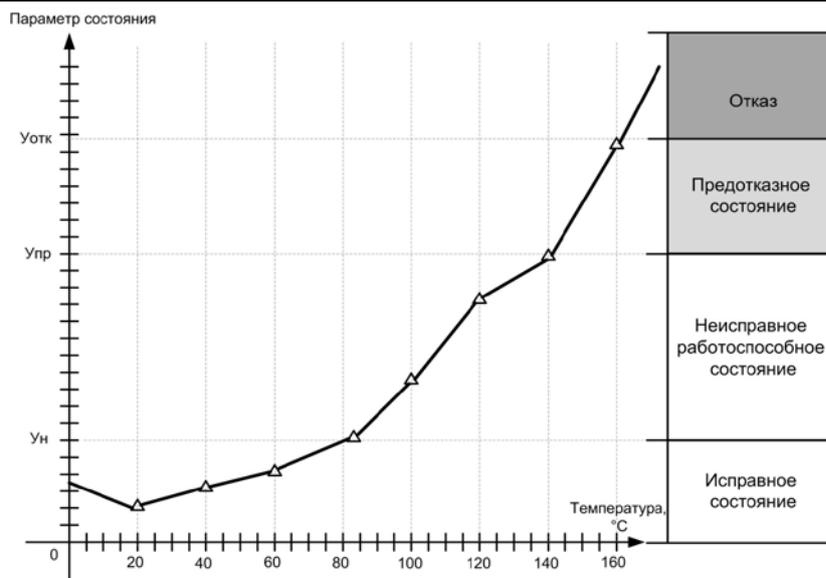


Рис. 2. График зависимости температуры поверхности электрической машины и ее технического состояния

Как видно из рисунка 10, с ростом температуры поверхности устройства выше 81 °С техническое состояние электрической машины из нормального состояния переходит в неисправное работоспособное. Повышенная температура на корпусе электрической машины говорит о возникающих неисправностях данного устройства. Дальнейший рост температуры выше 140 °С говорит о возникновении предотказного состояния электрической машины железнодорожного подвижного состава. При данном состоянии с вероятностью более 95% может возникнуть отказ данного технического устройства.

Таким образом, при контроле перечисленных параметров имеется возможность надежно защитить исследуемую электрическую машину 1.

Важно отметить, что предлагаемый стенд позволит: расширить функциональные возможности стенда для вибрационных, динамических испытаний и теплового контроля электрогенераторов пассажирских вагонов, тяговых электродвигателей локомотивов, моторвагонов электропоездов и другого подвижного состава железнодорожного транспорта. Стенд для испытаний электрических машин подвижного состава позволит на 15% повысить качество испытаний электрических машин после ремонта, снизить количество отказов данных устройств в эксплуатации на 22%.

Список литературы

1. Шмойлов А. Н., Клюканов А. В., Рязяпов И. И. Разработка стенда для испытания электрических машин подвижного состава // Подвижной состав: современные тенденции и перспективы развития транспорт-ной отрасли: материалы научного марафона, посвященного 30-летию со дня основания факультета «Подвижной состав и путевые машины». Самара: СамГУПС, 2019. С. 51-54.
2. Повышение контроля механизированной затяжки шпинтонных гаек при ремонте пассажирских тележек // А.В. Клюканов, В.А. Иванов, А.Н. Шмойлов / Вестник транспорта Поволжья. 2016. № 2 (56). С. 30-33
3. Николаев И.И., Шмойлов А.Н. Совершенствование технологии контроля и диагностики электрических машин подвижного состава // Дни студенческой науки Сборник материалов 49-й научной конференции обучающихся СамГУПС / Сер. «Технические науки» Том 1. 2022. Самара: СамГУПС, 2022. С. 132-133.
4. Шмойлов А. Н., Клюканов А. В., Шмойлова Ю. В. Стенд для испытания высокооборотных электрических машин: полезная модель к патенту РФ № 189719, МПК G01R 35/00 (2006.01), заявлено 13.02.2019, опубл. 31.05.2019.

Шмойлов Андрей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Shmoilov@inbox.ru, Россия, Самара, Самарский государственный университет путей сообщения,

Золкин Александр Леонидович, канд. техн. наук, доцент, alzolkin@list.ru, Россия, Самара, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

IMPROVEMENT OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF ELECTRIC MACHINES OF RAILWAY ROLLING STOCK

A.N. Shmoilov, A.L. Zolkin

The present article is devoted to the issues of improving the process of technical diagnostics of electric machines of railway rolling stock: electric generators of passenger cars, traction electric motors of locomotives, motor cars of electric trains. The paper highlights the most important factors that have a significant impact on the occurrence of malfunctions of electric machines in operation. A block diagram of a new stand for testing electric vehicles of rolling stock is proposed. A study was conducted on the effect of the surface temperature of an electric machine on the occurrence of a pre-failure condition of the entire technical device. A graph of the dependence of the surface temperature of an electric rolling stock machine and its technical condition has been compiled.

Key words: technical diagnostics, test bench for electric machines, electric motor, vibration effects, surface temperature.

Shmoilov Andrey Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, Shmoilov@inbox.ru, Russia, Samara, Samara State University of Railway Transport,

Alexander Leonidovich Zolkin, candidate of technical sciences, docent, alzolkin@list.ru, Russia, Samara, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

УДК 629.7.023

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-467-468

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПСЕВДО- α -ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

И.В. Ворначева, С.А. Войнаш, В.А. Соколова, А.А. Ореховская, Р.Р. Загидуллин

Повышение мощностей электроэнергетической отрасли требует новых конструктивных решений в области электроэнергетического материаловедения. Наиболее перспективными для лопаток паровых турбин в цилиндре низкого давления являются псевдо- α -титановые сплавы. В статье рассмотрен способ упрочнения псевдо- α -титанового сплава ВТ41 методом термоциклической обработки. Изучена микроструктура сплава после различного количества циклов обработки, а также механические свойства упрочненного сплава.

Ключевые слова: псевдо- α -титановые сплавы, термоциклирование, лопатки паровых турбин, титан, температура полиморфного превращения.

Развитие энергетики, как в Российской Федерации, так и за рубежом, предполагает все более широкое использование турбинных агрегатов повышенной мощности, давление пара в которых достигает 25 МПа, скорость парового потока 500 м/с, а его температура 540°C. Увеличение мощности паровых турбин связано с увеличением длины рабочих лопаток цилиндра низкого давления, а значит, увеличение их габаритов и веса. В процессе работы лопатки подвергаются горячей деформации и теплосменам, вследствие чего по сечению заготовок лопаток паровых турбин образуется повышенная склонность материала к структурнохимической неоднородности, приводящей к снижению механической прочности лопаток и вязко-пластических свойств. Силовые нагрузки вызывают в материале лопаток сложное напряженное состояние (изгиб и скручивание), кроме того, в них возникают растягивающие напряжения от центробежной силы, обусловленной большой скоростью вращения ротора. Все эти напряжения материал турбинных лопаток должен выдерживать долгое время (проектный ресурс работы турбины 100 тыс. ч). Это обуславливает повышенные требования к материалам таких турбоагрегатов, в частности, к их рабочим лопаткам [1-33].

Наиболее перспективными материалами для турбинных лопаток, особенно для лопаток больших размеров, устанавливаемых в цилиндрах низкого давления паровых турбин, считаются титановые сплавы. Эти сплавы отличаются относительной легкостью и высокой удельной прочностью, что делает возможным использование их для лопаток длиной до 1500 мм.

Перспективными материалами для крупногабаритных лопаток в таких турбинах могут быть псевдо- α -титановые сплавы, являющиеся наиболее жаропрочными в диапазоне температур 550 - 600°C, у которых содержание нестабильной β -фазы значительно меньше, чем в двухфазных (α + β)- титановых сплавах, что обеспечивает их более высокую теплостойкость. С другой стороны, эти сплавы не поддаются упрочнению закалкой и старением, в то время как в настоящее время не позволяет использовать их для турбинных лопаток большой длины из-за недостаточной исходной прочности. Наиболее жаропрочными сплавами при температурах 550-600°C считают ВТ18 и ВТ41. Высокие прочностные свойства последнего сплава обусловлены применением многокомпонентного легирования, которое приводит к образованию карбидной фазы на основе вольфрама и дополнительному упрочнению α -твердого раствора железом, введенному в пределах растворимости [2,3].

В настоящей работе предложено использовать для упрочнения псевдо- α -титановых сплавов, предназначенных для турбинных лопаток, термоциклическую обработку (ТЦО), которая, как известно, может повысить прочность и пластичность однофазных материалов (на 20...35%) и существенно увеличить теплостойкость. При этом энергозатраты и длительность ТЦО значительно ниже, чем при закалке длительным старением.

На основании разработанной обобщенной кинетической диаграммы структурных и фазовых превращений в деформированных титановых сплавах в широком температурно-временном интервале [1-33], рис. 1, была установлена связь структуры и свойств титановых сплавов в зависимости от температуры абсолютной (Т), и приведенной к одинаковому содержанию высокотемпературной - фазы (Т). Установлено, что чем больше неравновесные β (β)- и α (α)- твердые растворы содержали одноименных α - и β - легирующих элементов, тем они более устойчивы, а их многостадийный распад, происходил при более низких температурах, и за большее время.

Прочность титановых сплавов при одинаковых режимах закалки и старения существенно зависит от содержания в них β -стабилизаторов. Обычно мартенситное превращение в титановых сплавах (также, как и в железных) не проходит до конца, в результате чего при закалке образуется титановый мартенсит α' (α'') и фиксируется неустойчивая (остаточная) β' - фаза. Соотношение между α' (α'') и β' зависит от концентрации легирующих элементов в сплаве – чем больше в составе сплава β -стабилизирующих элементов, тем больше в структуре β' -фазы.

Весьма эффективным методом повышения прочности титановых сплавов с одновременным сохранением достаточно высокой пластичности может быть термоциклическая обработка (ТЦО). Такая обработка состоит в многократных циклах нагрева и охлаждения титанового сплава в интервале полного полиморфного превращения (выше и ниже точки А3), в результате чего на 15...20% повышается прочность и пластичность, на 30...35% повышается предел выносливости, а также существенно увеличивается теплостойкость и сопротивление ползучести [10-13, 20-33].

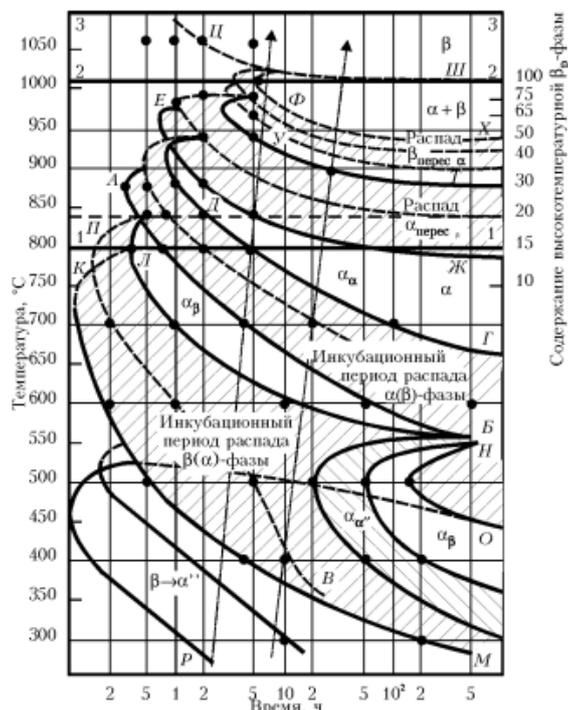


Рис.1. Кинетическая диаграмма структурных и фазовых превращений в сплавах титана в зависимости от температуры нагрева абсолютной (T) и приведенной к одинаковому содержанию высокотемпературной фазы (T')

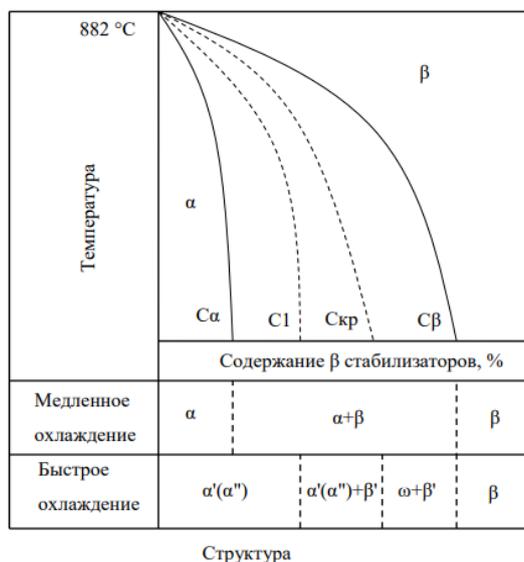


Рис. 2. Диаграмма фазовых областей в титановых сплавах, в зависимости от содержания β-стабилизирующих элементов и температуры

При термоциклической обработке повышение прочности достигается без закалки и длительного старения титановых изделий, как это происходит при упрочнении $(\alpha+\beta)$ -титановых сплавов. Поэтому ТЦО можно использовать для эффективного упрочнения псевдо- α -титановых сплавов, которые, как известно, не поддаются закалке, и таким образом реализовать их более высокую жаропрочность, по сравнению с $(\alpha+\beta)$ -титановыми сплавами. При ТЦО титановых сплавов наиболее важными параметрами являются: число циклов обработки, диапазон изменения температуры в цикле, скорость нагрева и скорость охлаждения, а также наличие или отсутствие выдержек при крайних температурах [14, 15]. Варьируя число циклов при такой обработке, возможно получение принципиально различных структур титановых сплавов и, соответственно, различных свойств этих материалов.

Цель настоящей работы – изучение влияния упрочняющей термоциклической обработки микроструктуру псевдо- α -титанового сплава VT41

Материалы и методы исследования. Для исследования был предложен следующий псевдо- α -титановый сплав: VT41. Исследовались образцы сплава из поковок, изготовленных по двум схемам. По первой схеме была проведена окончательная деформация при температурах однофазной области, по второй - окончательная деформация при температурах двухфазной области.

Химический состав и механические свойства титанового сплава VT41 приведены в табл.1.

Химический состав сплава ВТ41

Марка сплава	Содержание элементов, % масс.																
	Fe	C	Si	Ni	Cr	Mo	W	N	Nb	Ti	Al	Zr	O	Sn	H	Mn	Прочие при-меси
ВТ41	0,07	0,03	0,2			1,2	0,4		0,8	84,6	6,3	3,6	0,1	3,9			

Температура полного полиморфного превращения, определялась с помощью металлографического анализа и составляла 1025°C. Термоциклирование проводили на установке ИМАШ АЛА-ТОО 20-75, которая позволяет проводить нагрев образцов проходящим током промышленной частоты низкого давления в вакууме.

Для измерения температуры образца использовались платино- или платинородиевые термопары диаметром 0,3 мм, спаи которых прикреплялись точечной сваркой к поверхности образца в "горячей" зоне, т.е. в зоне максимального нагрева (посередине образца в месте наименьшего сечения). С целью концентрации зоны нагрева была принята форма образца, показанная на рис.3.

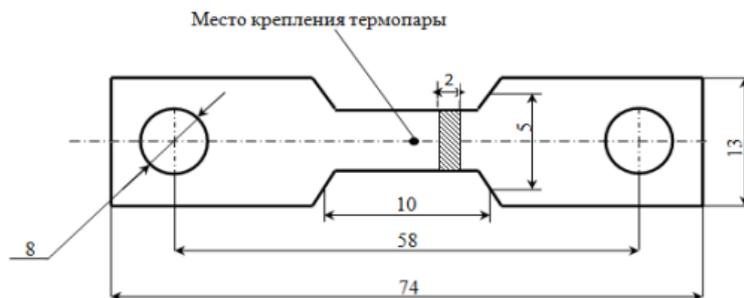


Рис. 3. Образец для испытания на установке ИМАШ АЛА-ТОО 20-75

Результаты и обсуждение. Микроструктурные исследования осуществлялись с помощью оптического микроскопа МИМ-8 и автоматического анализатора структуры EPIQUANT при различных увеличениях от 100 до 1000 крат. Кроме того, для получения изображений микроструктуры повышенного качества использовался микроскоп Neoplut-21. Определение количества легирующих элементов, присутствующих в титановых сплавах, принятых для исследования, проводилось с использованием спектрометра Foundry Mate. Фазовый анализ титановых сплавов проводился с использованием установок ДРОН-3М и УРС-60. Съемка дифрактограмм проводилась с применением медного, кобальтового и хромового K α -излучения при напряжении 35 кВ.

Выбору скоростей нагрева и охлаждения образцов при термоциклировании в наших исследованиях уделялось повышенное внимание, поскольку скорость нагрева, как известно, влияет на размер зерна в титановых сплавах, а скорость охлаждения влияет на механизм распада высокотемпературной фазы (диффузионный или сдвиговый). Задержка при максимальной температуре цикла был, по возможности, минимальной, чтобы не допускать роста новой фазы (β), образовавшейся при полиморфном превращении титанового сплава.

Температура полиморфного превращения: $T_{A3} = 1025^\circ\text{C}$, $T_{A1} = 990^\circ\text{C}$. Верхняя граница температуры термоциклирования: $T_v = 1100^\circ\text{C}$, нижняя граница температуры термоциклирования: $T_n = 800^\circ\text{C}$.

При нагреве образца до 880°C в результате вакуумного травления можно было наблюдать высокотемпературную структуру материала с помощью длиннофокусного высокотемпературного микроскопа, которым укомплектована установка. Метод термоциклической обработки титановых сплавов, как и многих других металлических материалов, основан на постоянном накоплении от цикла к циклу (нагрев - охлаждение) положительных изменений в структуре металла. В ходе термоциклической обработки перед каждым новым циклом структура отличается от предыдущей, в отличие от обычных видов термообработки, состоящих из нагрева, изотермической выдержки и охлаждения, при которых структура упрочняемых сплавов характеризуется начальным и конечным состояниями. Основными задачами технологических режимов термоциклической обработки титановых сплавов являются: измельчение структуры и сфероидизация избыточных фаз, повышение (или понижение) плотности дислокаций, интенсификация релаксационных процессов и, в результате, - улучшение показателей физико-механических свойств этих материалов.

Наиболее подходящими для термоциклической обработки являются псевдо- α - и ($\alpha+\beta$)-титановые сплавы, легированные алюминием и β -стабилизирующими элементами, структурные и фазовые превращения в которых обеспечивают наибольший упрочняющий эффект. Литературные данные и наши исследования [10,16-22] показывают, что максимальное упрочнение при термоциклировании происходит в тех случаях, когда в сплаве происходят фазовые переходы, при которых энтальпия (теплосодержание) и микрообъемы новой фазы изменяются скачкообразно. При термоциклировании титановых сплавов возможно несколько вариантов, при которых выполняются названные выше условия (рис.4).

Как показывают исследования, при температуре 880°C полиморфного α - β - превращения в равновесном состоянии, концентрация вакансий в ГПУ-Тi на 8 порядков больше чем в ОЦК-Тi. Поэтому, можно сделать вывод о том, что во время α - β -превращения, высокотемпературная ОЦК- фаза, образуясь по сдвиговому механизму и наследуя дефекты низкотемпературной α -модификации, оказывается вакансионно-пересыщенным и упорядоченным β -твердым раствором. Его пространственная кристаллическая решетка состоит из 8 элементарных ОЦК-ячеек с тетравакансиями. Полное завершение полиморфного превращения и переход вперес. в равновесное состояние, протекает по диффузионному многостадийному механизму распада: на 1 стадии возникает микрорасслоение (образование двух зон - обогащенной и обедненной вакансиями); на 2 стадии внутри этих зон, соответственно, появляются две, когерентные с металлической матрицей, кристаллические подрешетки предвыделений, вставленные одна в другую: металлическая, образующая решетку алмаза (кристаллогеометрически упрочненное состояние), с параметром $a_{\text{алмаз}} = 2a_\beta$ (равным удвоенному параметру ОЦК- решетки) и вакансионная, рис. 2.в, с гексагональной ω -решеткой (хрупкое ω -состояние).

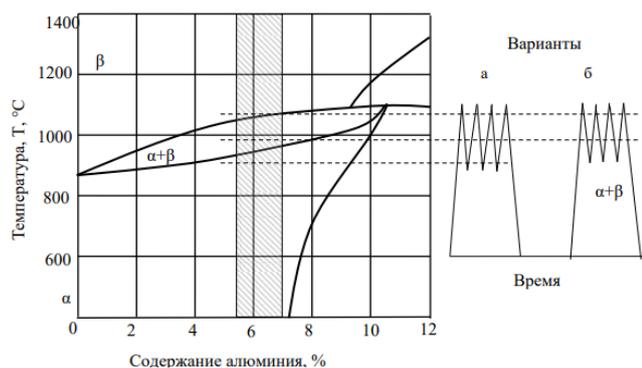


Рис.4. Термоциклирование псевдо- α -титанового сплава VT41

Полное завершение полиморфного превращения и переход нестабильного β -раствора в стабильное состояние протекает по диффузионному механизму, связанному с перемещением в кристаллической решетке вакансий и примесных (легирующих) атомов, что требует некоторой выдержки. Однако, при термоциклировании температура все время изменяется и фазовые превращения в таких условиях происходят не до конца.

Фазовый состав титанового сплава, охлаждаемого с температуры полиморфного превращения, что имеет место при термоциклической обработке, решающим образом зависит от скорости охлаждения (рис.5).

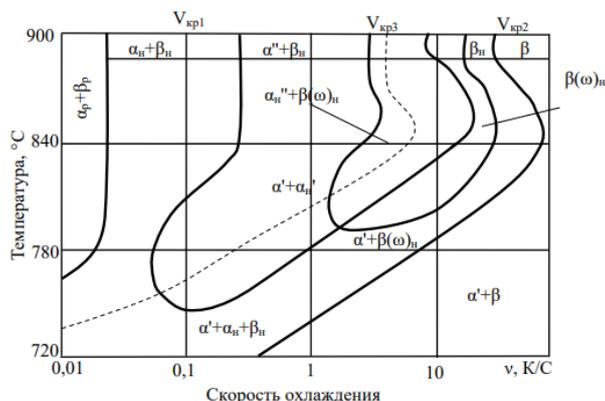


Рис.5. Диаграмма «Температура нагрева - скорость охлаждения - фазовый состав» сплава VT41

При высоких скоростях охлаждения в структуре сплава образуются нестабильные фазы (α' , α'' и β_n), кристаллическая решетка которых обладает повышенным запасом энергии (за счет значительных искажений решетки). Аккумулирование внешней энергии системой атомов основы и легирующих элементов за счет смещения атомов из своих равновесных положений (узлов кристаллической решетки), происходящее в процессе термоциклической обработки, создает в объеме материала сложное напряженное поле на всех структурных уровнях. Термоциклирование способствует формированию метастабильной микроструктуры и субмикроструктуры, а также дислокационных сеток, что и повышает механические и эксплуатационные свойства титановых сплавов. В процессе фазовых превращений, происходящих при термоциклической обработке титановых сплавов, пересыщенный вакансиями ОЦК-твердый раствор (β_n -фаза), возникающий на первой фазе превращения, имеет наибольший удельный объем, который постепенно уменьшается по мере диффузии вакансий к границам зерен или дислокациям. В области температур вблизи точки полиморфного превращения происходит значительное увеличение пластичности титановых сплавов.

Согласно [1] температурный показатель, характеризующий закономерности структурно-фазовых превращений и изменения свойств сплавов титана, является температура не абсолютная (Т), а приведенная к одинаковой объемной доле высокотемпературной β - фазы (Т).

Исследования показали, что при 12-15 циклах термоциклической обработки сплав VT41 приобретает глобулярную мелкозернистую структуру (рис.6).

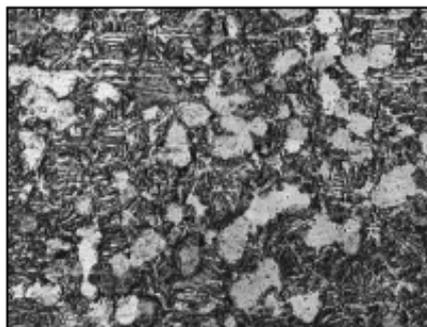


Рис.6.Микроструктура сплава VT41 после 12 циклов ТЦО ($\times 300$)

В глобулярной структуре велика работа зарождения трещины и относительно низка её работа распространения. Поэтому здесь оказываются низкими вязкость разрушения. Исследования микроструктуры показали, что после 12 циклов ТЦО α - фаза представляет собой как глобулы с размерами около 11 - 21 мкм, так и вытянутые пластины шириной 1 - 3 мкм, разделенные прослойками β - фазы шириной 0,1-1 мкм. Расстояние между глобулами равнялось в среднем 16 - 31 мкм (рис.7).

Установлено, что при циклических нагрузках твердые пластины вторичной α п-фазы, которые окантованы мягкими прослойками β – фазы, а также равнопрочная глобулярная α – фаза, тормозят преждевременную пластическую деформацию и останавливают зарождение трещины в отдельных фазах. А также затрудняют распространение трещины в (α п + β п)-пластинчатой структуре мягкими прослойками β п-фазы, вследствие чего распространение трещины изменяет свою траекторию, огибая глобулярные частицы α -фазы. При этом эксплуатационные свойства титанового сплава ВТ41 повышаются.



Рис. 7. Микростроение поверхности разрушения образца из титанового сплава ВТ41 после термоциклической обработки после испытания на ударный изгиб

Измельчение структуры титановых сплавов и повышение плотности дислокаций (наклеп) в мелких зернах α -фазы в результате термоциклирования приводит к повышению как статической, так и динамической прочности. Установлено, что значения предела прочности для сплава ВТ41 возрастают в 1,34...1,35 раз, а значения ударной вязкости возрастают в 1,5...2 раза.

Выводы:

1. Дано теоретическое обоснование упрочнения псевдо- α -титановых сплавов методом термоциклирования.
2. Изучено изменение микроструктуры псевдо- α -титановых сплавов после термоциклирования.
3. Установлено, что измельчение структуры титановых сплавов и повышение плотности дислокаций (наклеп) в мелких зернах α -фазы в результате термоциклирования приводит к повышению как статической, так и динамической прочности.

Работа выполнена в рамках грантовой поддержки ученым консорциума ЮЗГУ в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

Список литературы

1. Скотникова, М.А. Высокотемпературный распад твёрдых растворов при полиморфном превращении деформированных сплавов титана / М.А. Скотникова, Е.В. Миронова, Н.А. Крылов, А.В. Соколов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия Наука и образование. 2013. №1. С. 41-52.
2. Разработка опытно-промышленной технологии изготовления полуфабрикатов из псевдо- α титанового сплава ВТ41 / Е.Н. Каблов, О.С. Кашапов, Т.В. Павлова, Н.А. Ночовная // Титан. 2016. №2. С. 33-38.
3. Кашапов О.С., Павлова Т.В., Ночовная Н.А. Влияние режимов термической обработки на структуру и свойства жаропрочного титанового сплава для лопаток КВД //Авиационные материалы и технологии. 2010. №2. С. 8-14.
4. Kuranishi T., Habazaki H., Konno H. Oxidation-resistant multilayer coatings using an anodic alumina layer as a diffusion barrier on γ -TiAl substrates // Surface and Coatings Technology. 2005. V. 200. №7. P. 2438-2444.
5. Cvijovic I., Jovanovic V.T., Perusko D. Cyclic oxidation behavior of TiAl-based alloy with Ni-Cr protective layer // Corrosion Science. 2008. V. 50. №7. P. 1919-1925.
6. Davies P., Pederson R., Coleman M., Biroscas S. The hierarchy of microstructure parameters affecting the tensile ductility in centrifugally cast and forged Ti-834 alloy during high temperature exposure in air // Acta Materialia. 2016. Vol. 117. P. 51-67. DOI: 10.1016/j.actamat.2016.07.015.
7. Филонович А.В. К использованию скин-эффекта для вихретокового контроля металлических изделий цилиндрической формы / Филонович А.В., Колмыков В.И., Кутуев А.Н., Ворначева И.В. // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 5 (56). С. 89-93.
8. Zhang J., Peng N., Wang Q., Wang X. A new aging treatment way for near a high temperature Titanium Alloys // Journal of Materials Science & Technology. 2009. Vol. 25. No. 4. P. 454-458.
9. Radecka A., Vorontsov V.A., Coakley J. and etc. Ordering in a Titanium Alloys // Proceedings of the 13th World Conference on Titanium. The Minerals, Metals & Materials Society. 2016. P. 971-978.
10. Sai Srinadh K.V., Singh N., Singh V. Role of Ti3Al/silicides on tensile properties of Timetal 834 at various temperatures // Bulletin of Materials Science. 2007. Vol. 30. No. 6. P. 595-600.

11. Идентификация размеров дефектов при вихретоковом контроле / Гадалов В.Н., Губанов О.М., Филонович А.В., Ворначева И.В. // Справочник. Инженерный журнал. 2021. № 11 (296). С. 16-19.
12. Гадалов В.Н. Исследование кинетики процесса формирования упрочненного поверхностного слоя, его структуры и фазового состава на спеченном сплаве ОТ4, полученного методом электроэрозионного диспергирования с локальным электроискровым нанесением покрытия / Гадалов В.Н., Филатов Е.А., Гвоздев А.Е., Стариков Н.Е., Макарова И.А., Ворначева И.В. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 11-2. С. 153-163.
13. Гадалов В.Н. Модернизация процесса технологии электроискрового легирования / Гадалов В.Н., Ворначева И.В., Макарова И.А., Филатов Е.А., Ельников Е.А., Ерохин Р.Ю. // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 5. С. 41-48.
14. Гадалов В.Н. Влияние термообработки на структуру и механические свойства сплава Ti-6Al-6V-2Sn / Гадалов В.Н., Филонович А.В., Ковалев С.В., Абакумов А.В., Ворначева И.В., Тураева О.А. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 3 (20). С. 37-42.
15. Губанов О.М. Мониторинг кинетических закономерностей износа внутренних поверхностей оборудования в условиях интенсивной коррозии с применением разных рабочих сред / Губанов О.М., Гадалов В.Н., Филонович А.В., Ворначева И.В., Макарова И.А. // Справочник. Инженерный журнал. 2022. № 6 (303). С. 48-53.
16. Скотникова М.А. Выбор оптимального режима термообработки титановых сплавов типа VT20 с применением количественной металлографии и анализа химического состава фаз / М.А. Скотникова, В.М. Алексеев, Е.В. Миронова // «Физика прочности и пластичности материалов»: Сб. трудов XVII Международная конференция. – Самара: СГТУ, 2009. С. 85-86.
17. Миронова Е.В. Выбор оптимального режима термообработки титановых сплавов типа VT20 с применением количественной металлографии и анализа химического состава фаз / Е.В. Миронова // XLI Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Ч.IV. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2012. С. 140-142.
18. Лясоцкая В.С. Полиморфное превращение – основа термоциклической обработки титановых сплавов [Текст] / В.С. Лясоцкая, С.И. Князева // Металловедение и термическая обработка металлов. 2000. №4. С.20–23.
19. Лясоцкая В.С. Термоциклическая обработка титановых сплавов, основанная на полиморфном превращении [Текст] / В.С. Лясоцкая, С.И. Князева // Металловедение и термическая обработка металлов. 2009. №1. С. 9-13.
20. Земский С.В. Некоторые вопросы диффузии при термоциклической обработке [Текст] / С.В. Земский, С.Ф. Забелин и А.С. Тихонов // Термоциклическая обработка металлических изделий: матер. конф. – Л., 1982. С. 22–23.
21. Брокштейн С.З. Полигонизация при ТЦО титановых сплавов: тонкая структура и механические свойства [Текст] / С.З. Брокштейн, Н.П. Зюлина, О.В. Маркович и др. // Термоциклическая обработка металлических 200 материалов: Мат. к конф. – Л.: Наука, 1982. С. 166–169.
22. Николаев Е.Н. Термическая обработка металлов токами высокой частоты [Текст] / Е.Н. Николаев, И.М. Коротин. – М.: «Высшая школа», 1984. 208 с.
23. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин [Текст] / В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Л.: Машиностроение, 1989. 255 с.
24. Ворначева И.В. Влияние режимов ТЦО на эксплуатационные свойства сплава VT20 и ОТ4 [Текст] / И.В. Ворначева, В.Н. Гадалов, С.М. Грабчук [и др.] // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых-2019: Сб. тр. 8-й междунар. молодеж. науч. конф. – Курск, 2019. Том 5. С. 96–99.
25. Ворначева И.В. Термическая обработка лопаток из титанового сплава VT20 по нестационарным режимам [Текст] / И.В. Ворначева, А.В. Филонович, Р.Ю. Ерохин [и др.] // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: Сб. науч. тр. 6 междунар. науч. конф. – Казань, 2019. С. 24–25.
26. Крушенко Г.Г. Повышение механических свойств сплавов с помощью термоциклирования [Текст] / Г.Г. Крушенко // Решетневские чтения. 2011. Т.1. С. 338-340.
27. Князева С.И. Повышение комплекса механических свойств полуфабрикатов и сварных соединений из титановых сплавов VT23 и VT22 путем термоциклической обработки [Текст]: дисс. канд. техн. наук: 05.16.01: защищена 19.09.1996 / С.И. Князева. – Москва, 1996. 145 с.
28. Бокштейн С.З. Термоциклическая обработка - резерв повышения служебных свойств титановых сплавов [Текст] / Бокштейн С.З., Зюлина Н.П., Маркович О.В. // Авиационная промышленность. 1989. № 8. С. 62-65.
29. Лясоцкая В.С. Особенности термоциклической обработки титановых сплавов [Текст] / Лясоцкая В.С., Равдоникас Н.Ю., Лебедев И.А. // Металловедение и термическая обработка металлов. 1985. № 12. С. 41- 45.
30. Bo H. Microstructure and thermal cycling behavior of thermal barrier coating on near- α titanium alloy [Текст] / H. Bo, L. Fei, Z. Hong, D. Yongbing // Journal of Coatings Technology and Research. 2007. №4. С. 335 – 340.
31. Gadalov V.N. Monitoring the influence of heat treatment modes on the structure and properties of products from titanium powders obtained by different production methods / Gadalov V.N., Vornacheva I.V., Orekhovskaya A.A., Lopareva S.G., Malikov V.N. // AIP Conference Proceedings. Proceedings of the iv international scientific conference on advanced technologies in aerospace, mechanical and automation engineering: (MIST: Aerospace-IV 2021). AIP PUBLISHING, 2023. С. 020008.
32. Gadalov V. Surface saturation monitoring of forming products from titanium alloy VT20 with additives / Gadalov V., Vornacheva I., Luchinovich A., Loparev D., Scherbakov A., Malikov V., Sokolova V. // Journal of Physics: Conference Series. III International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022). Krasnoyarsk, 2022. С. 32013.
33. Gadalov V.N. Regularities of structure formation of aluminum powdered particles produced by reactive mechanical alloying / Gadalov V.N., Vornacheva I.V., El'nikov E.A., Alymov D.S., Nesterov D.I., Gvozdev A.E., Kutepov S.N., Kolmakov A.G. // Inorganic Materials: Applied Research. 2020. Т. 11. № 1. С. 198-201.

Ворначева Ирина Валерьевна, канд. техн. наук, доцент, vornairina2008@yandex.ru, Россия, Курск, Юго-Западный государственный университет,

Войнаш Сергей Александрович, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальная мобильность», sergey_voi@mail.ru, Россия, Казань, Казанский федеральный университет,

Соколова Виктория Александровна, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальная мобильность», sokolova_vika@inbox.ru, Россия, Казань, Казанский федеральный университет,

Ореховская Александра Александровна, канд. сельск. наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальная мобильность», orehovskaja_aa@bsaa.edu.ru, Россия, Казань, Казанский федеральный университет,

Загидуллин Рамиль Равильевич, канд. техн. наук, доцент, r.r.zagidullin@mail.ru, Россия, Казань, Казанский федеральный университет

STUDY OF THE INFLUENCE OF THERMAL CYCLING ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF PSEUDO- α -TITANIUM ALLOYS

I.V. Vornacheva, S.A. Voinash, V.A. Sokolova, A.A. Orekhovskaya, R.R. Zagidullin

Increasing the capacity of the electric power industry requires new design solutions in the field of electric power materials science. The most promising for steam turbine blades in a low-pressure cylinder are pseudo- α -titanium alloys. The article discusses a method of strengthening pseudo- α -titanium alloy VT41 by thermal cycling. The microstructure of the alloy after various numbers of processing cycles, as well as the mechanical properties of the hardened alloy, were studied.

Key words: pseudo- α -titanium alloys, thermal cycling, steam turbine blades, titanium, polymorphic transformation temperature.

Vornacheva Irina Valerievna, candidate of technical sciences, docent, vornairina2008@yandex.ru, Russia, Kursk, South-West State University,

Voinash Sergey Aleksandrovich, junior researcher at the research laboratory "Intelligent Mobility", sergey_voi@mail.ru, Russia, Kazan, Kazan Federal University,

Sokolova Viktoriia Aleksandrovna, candidate of technical sciences, docent, leading researcher at the research laboratory "Intelligent Mobility", sokolova_vika@inbox.ru, Russia, Kazan, Kazan Federal University,

Orekhovskaya Alexandra Alexandrovna, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the research laboratory "Intellectual Mobility", orehovskaja_aa@bsaa.edu.ru, Russia, Kazan, Kazan Federal University,

Zagidullin Ramil Ravilevich, candidate of technical sciences, docent, r.r.zagidullin@mail.ru, Russia, Kazan, Kazan Federal University

УДК: 621.914.54

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-473-474

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ МАЛОГАБАРИТНЫХ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ, ПОИСК ИХ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

И.М. Кулешов, Д.С. Макашин

В статье рассматриваются особенности малогабаритных фрезерных станков с ЧПУ и их применение на производстве. Показано, что современные малогабаритные станки с ЧПУ являются полноценным металлообрабатывающим оборудованием, не уступающим по качеству и точности своим полноразмерным аналогам. Подробно рассмотрены преимущества и недостатки по сравнению с крупногабаритным оборудованием. Разработана методика выбора настольного станка для изготовления деталей различной сложности. Подробно рассмотрен выбор оборудования по разработанной методике.

Ключевые слова: настольный фрезерный станок, ЧПУ, программное обеспечение, малогабаритный фрезерный станок, точность, обработка.

Малогабаритные станки с ЧПУ уверенно применяются на производствах небольших изделий. Использование таких фрезерных станков с ЧПУ на производствах улучшает автоматизацию и сохраняет гибкость производства [1].

Современные малогабаритные станки с ЧПУ являются полноценным металлообрабатывающим оборудованием, которые по своим характеристикам могут не отставать от полноценных крупногабаритных станков. Такие станки хорошо подходят для производств с небольшой производственной площадью, где изготавливаются малогабаритные изделия [2].

Типы малогабаритных станков. По компоновке фрезерные станки с ЧПУ делят на четыре различные группы (рис. 1) [1]:

- а) вертикально-фрезерные с крестовым столом;
- б) консольно-фрезерные;
- в) продольно-фрезерные;
- г) продольно-фрезерные с неподвижной поперечиной;
- д) широкоуниверсальные инструментальные.

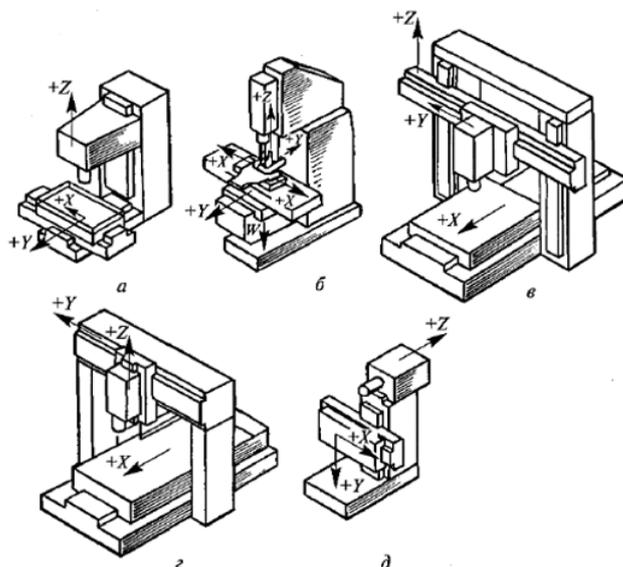


Рис. 1. Компоновки фрезерных станков с ЧПУ с обозначением осей координат X, Y, Z и W.

Наиболее распространенными типами фрезерных станков являются консольно-фрезерные, вертикально-фрезерные с крестовым столом и продольно-фрезерные с неподвижной поперечиной [3, 4]. Вертикальные и консольные компоновки обладают большей жесткостью в процессе обработки благодаря своей конструкции, но они не слишком подходят для малогабаритных станков, так как имеют небольшое рабочее поле [5-7]. Преимущественно используется продольная компоновка с неподвижной поперечиной (портальная), поскольку она значительно увеличивает рабочее поле, при этом сохраняя компактные размеры станка [8].

Преимущества и недостатки по сравнению с крупногабаритными. К основному преимуществу использования малогабаритных станков с ЧПУ по сравнению с полноразмерными можно отнести небольшую себестоимость, при сохранении схожих характеристик точности и функциональности.

Малогабаритные станки занимают меньше места на производственной площади. Это особенно важно для предприятий с ограниченным пространством, где каждый квадратный метр имеет ценность. Также для таких станков можно использовать многоуровневую установку.

Компактные станки активно используют энергосберегающие технологии, что позволяет снизить затраты на электроэнергию. Максимальная потребляемая мощность часто остается на уровне не больше 1000 Вт, приемлемом для стандартных электросетей [9].

Малогабаритные станки обладают классом точности H, P, и этого достаточно для обработки большинства распространенных деталей. Шероховатость поверхности не более 3,2 Ra, при обработке фрезой, диаметром менее 12 мм [10, 11].

Одним из ключевых аспектов, влияющих на эффективность станков с ЧПУ, является развитие программного обеспечения. Малогабаритные станки часто используют простые программы управления, ориентированные на трехкоординатную обработку. На таких станках, в основном используются такие программы, как MasterCam, Гемма 3D и др. [12]. В то время как полноразмерные станки, благодаря своей более мощной аппаратуре, могут использовать более сложные программы с расширенными функциями.

Малогабаритные станки можно легко перемещать и устанавливать без необходимости использования подъемного оборудования. Это облегчает транспортировку, особенно в случае гарантийного ремонта.

Малогабаритные станки обладают некоторыми ограничениями в автономной работе. Например, они могут требовать более частого вмешательства оператора в подготовительных и заключительных операциях, что может снизить их длительную автономную работу. В то время как полноразмерные станки, благодаря более сложным системам автоматизации, могут выполнять долгие циклы обработки без постоянного присутствия оператора. Также на малогабаритных станках сложно осуществить обработку и контроль операций на одном станке [13]. Также малогабаритные станки обычно имеют ограниченное рабочее поле. Это может быть недостатком при обработке крупных и сложных деталей.

Таким образом, малогабаритные станки представляют ряд преимуществ, таких как экономия пространства, экономия бюджета и энергосбережение, что делает их отличным выбором для небольших предприятий. Однако, для крупных задач, где требуется высокая точность и автоматизация, полноразмерные станки могут быть более подходящим решением.

Способы программирования. Для работы на станках с ЧПУ используется G-код, который представляет собой последовательность команд для определения направления движения инструмента и некоторые другие параметры обработки. Управляющий G-код может быть разработан на основе 3D-модели в таких программах, как ArtCAM, PowerMill или AutoCAD [14, 15].

ArtCAM – одна из распространённых программ, которая позволяет создавать 3D-модели и 2D-контуры, по которым потом автоматически создается управляющая программа. В управляющей программе задается размер и параметры режущих инструментов, тип обработки, точность, размер шага и глубина фрезерования, скорость подачи и скорость вращения инструмента. Так же в ArtCAM есть возможность просмотра симуляции разработанной программы, и посчитать время обработки.

Полученный в ArtCAM G-код переносится в компьютер, подключенный к системе ЧПУ, либо в управляющую стойку ЧПУ станка. В системе ЧПУ устанавливается специальная плата, ответственная за управление. Используются такие платы, как Mach3, NCstudio, PlanetCNC и др. G-код загружается в память станка, и открывается в одной из этих программ. Эти программы позволяют запускать G-код, управлять станком вручную, изменять значение подачи и оборотов, и также изменять многочисленные настройки станка.

Требования для работы в не оборудованных для производства помещениях. При использовании фрезерных станков с ЧПУ в не оборудованных для производства помещениях (в гаражных или домашних условиях) необходимо учитывать определенные требования, связанные с уровнем шума, вибрациями и образованием отходов.

Важным фактором является уровень шума, создаваемого станком. В таких помещениях требуется минимизировать шумовую нагрузку на окружающую среду. Поэтому выбор станка должен основываться на его звуковых характеристиках, а также возможности использования звукоизолирующих материалов.

Другим важным аспектом является уровень вибраций, которые создает станок. Высокие уровни вибраций могут привести к снижению эффективности станка, повреждению окружающих конструкций и оборудования, а также вызвать дискомфорт для пользователей. Поэтому необходимо выбирать станок с минимальным уровнем вибраций или предусматривать специальные меры для их снижения.

При работе фрезерных станков образуются отходы, такие как пыль и хладагенты. Эти отходы могут быть опасными для здоровья человека и окружающей среды. В не оборудованных для производства помещениях важно предусмотреть эффективную систему удаления отходов, чтобы избежать загрязнения рабочей зоны и окружающей среды. Также необходимо обратить внимание на возможность использования безопасных хладагентов.

Виды изделий, которые можно изготовить. Малогабаритные фрезерные станки с ЧПУ предоставляют возможность изготавливать разнообразные изделия из различных материалов. Некоторые из них включают:

- Металлические изделия: станки позволяют обрабатывать металлы, такие как алюминий, латунь и нержавеющая сталь. Это может быть изготовление различных крепежных элементов, зубчатых колес, шестеренок и других механических деталей.

- Пластиковые изделия: станки позволяют обрабатывать различные виды пластиков, такие как акрил, поликарбонат и ABS. Это может быть изготовление корпусов для электроники, заготовок для прототипирования и других пластиковых деталей.

- Деревянные изделия: станки позволяют обрабатывать различные виды древесины, такие как фанера, ДСП и массивная древесина. Это может быть изготовление мебели, декоративных элементов, резных изделий и других деревянных изделий.

Методика выбора настольного станка для изготовления деталей различной сложности. Выбор настольного станка с ЧПУ требует последовательности действий и учета нескольких факторов. Ниже представлена блок-схема методики выбора (рис. 2).

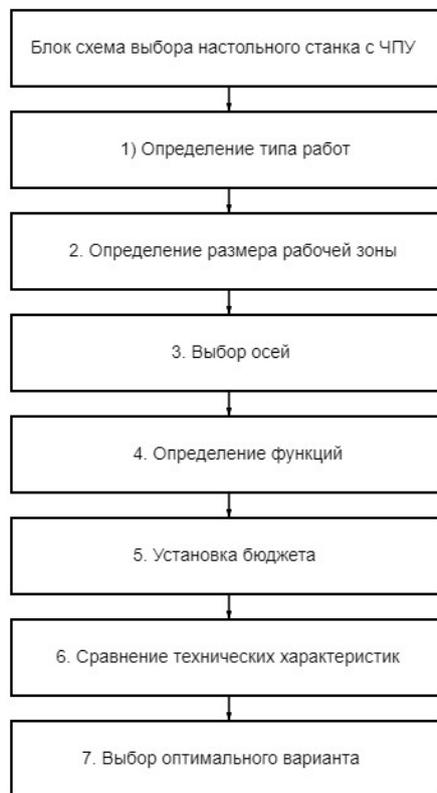


Рис. 2. Блок-схема выбора настольного станка с ЧПУ

1. Определение типа работ:
 - Изучение требований производства и задач, которые должен выполнять станок.
 - Определение материалов, которые будут обрабатываться.
 2. Определение размера рабочей зоны:
 - Измерение размеров деталей или заготовок, которые будут обрабатываться.
 - Выбор станка с соответствующей рабочей зоной.
 3. Выбор осей:
 - Определение требуемого количества осей (2D или 3D) для выполнения задач.
 - Учет возможности добавления или расширения осей в будущем.
 4. Определение функций:
 - Идентификация необходимых функций, таких как автоматическая смена инструментов или наличие встроенной системы охлаждения.
 5. Установка бюджета:
 - Определение финансовых возможностей и установление бюджета на приобретение станка.
 6. Сравнение технических характеристик:
 - Изучение технических характеристик различных моделей станков.
 - Сравнение преимуществ и недостатков каждой модели.
 7. Выбор оптимального варианта:
 - Принятие решения на основе сравнительного анализа и соответствия требованиям производства.
- Пример выбора станка:
1. Определение типа работ: Нужен станок для обработки деревянных и пластиковых изделий. Это различные сувениры и декор. Следовательно, нужен не дорогой станок с простыми, не сильно точными шаговыми двигателями, шпинделем, и ШВП с направляющими.
 2. Определение размера рабочей зоны: Изделия будут в основном небольшого размера, но, для увеличения возможностей изготовления более крупных изделий, можно немного переплатить и взять размер рабочего поля побольше, например 1300 x 2500 x 170 мм.
 3. Выбор осей: для поставленных целей необходимо минимум 3 оси. Также можно взять дополнительную четвертую поворотную ось, чтобы в будущем иметь возможность делать изделия в виде тел вращения.
 4. Определение функций: чтобы не переплачивать можно не брать такую функцию, как автоматическая смена инструментов, так как для изготовления запланированных изделий необходимо минимум задействованных инструментов. Систему охлаждения брать так же не нужно, так как планируется обрабатывать в основном деревянные и пластиковые изделия. Следует заказать дополнительно вытяжную установку для удаления пыли из рабочей зоны.
 5. Установка бюджета: необходимо искать станки по минимальной стоимости, чтобы была возможность купить большее количество станков в определенный бюджет, но и так же нужно, чтобы они соответствовали установленным критериям и качеству. Стоимость подходящих станков от 500 тыс. руб. до 1 млн. руб.
 6. Сравнение технических характеристик: сравнивая характеристики различных производителей станков, необходимо выбрать станки с более жесткой и целостной станиной, для избегания вибраций, с более мощным шпинделем, более точным и большим ШВП, и направляющими.
 7. Выбор оптимального решения: самым подходящим по всем параметрам станок получился WoodTec H 1325L, стоимостью 705 тысяч рублей, с размером поля 1300 x 2500 x 170 мм, мощностью шпинделя 3,2 кВт, с водяным охлаждением, с ручной сменой инструментов, и так же имеет возможность дополнительной установки четвертой оси.
- Малогабаритные фрезерные станки с ЧПУ представляют собой эффективный инструмент для изготовления различных деталей в гаражных или домашних условиях. Они позволяют изготавливать различные детали, обладают определенными требованиями к работе в таких условиях и требуют тщательного выбора при покупке. Описанная методика выбора настольного станка поможет определиться с подходящей моделью и обеспечить эффективное использование данного оборудования на производстве.

Список литературы

1. Черпаков, Б. И. Металлорежущие станки: Учебник для нач. проф. Образования / Б. И. Черпаков, Т. А. Альперович. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – С. 182.
2. Яцун, Е.И. Некоторые вопросы синтеза конструкции малогабаритных многооперационных станков с ЧПУ/ Е.И. Яцун, А.А. Золотухин // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. материалов VIII Междунар. науч.-техн. конф. Курск, 2011. Ч. 2. С. 65–69.
3. Харченко А.О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем: Учебное пособие для студентов вузов. - К.: ИД «Профессионал», 2004. - 304 с.
4. Бушуев В.В. Сверхточные станки // СТИН. – 2000. – №6 – С.27–32, №7 – С. 20–23.
5. Федькин, Н. С. Внедрение настольных фрезерных станков с ЧПУ в производство стекол из композитных материалов по индивидуальным меркам заказчиков / Н. С. Федькин, А. В. Канатов, С. Ю. Киселев // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2023. – № 1. – С. 1069-1071.
6. Макашин, Д. С. Планирование подготовки производства деталей с применением в технологическом процессе станков с числовым программным управлением и контрольно-измерительных машин / Д. С. Макашин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 8. – С. 419-426.
7. Компоновка настольных автоматизированных станков с ЧПУ для резки металлов и неметаллов / Д. Ю. Казимиров, А. Д. Астахов, А. Д. Лушпей, О. А. Медведев // Modern Science. – 2022. – № 12-1. – С. 193-198. – EDN EPIUSY.
8. Кислер, В. М. Обзор настольных фрезерных станков и их популяризация в рамках инженерно-технического творчества / В. М. Кислер // Инновационные научные исследования в современном мире: теория, методология, практика : Сборник научных статей по материалам X Международной научно-практической конференции, Уфа, 07 марта 2023 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. – С. 40-59.

9. Воронов, Р. Д. Разработка настольного станка с числовым программным управлением повышенной жесткости и виброустойчивости / Р. Д. Воронов, Д. Г. Левашкин, В. В. Соколов // Актуальные проблемы станкостроения - 2023 : Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пенза, 01–03 июня 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2023. – С. 201–206.

10. Федькин, Н. С. Исследование особенностей работы настольных фрезерных станков с ЧПУ и цифровых технологий для создания деталей простого и сложного контура / Н. С. Федькин, А. В. Канатов // Материалы докладов 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : В ДВУХ ТОМАХ, Витебск, 19 апреля 2023 года. Том 2. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2023. – С. 42–45.

11. Прокладова, С. А. Формообразование с учетом цифрового производства / С. А. Прокладова, Е. Н. Шайманова // Всероссийская научно-инженерная конференции имени профессора А.И. Комиссарова : Сборник материалов конференции, Москва, 29 мая – 01 2023 года. Том Часть 2. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2023. – С. 97–101. – EDN GTHNDH.

12. Автоматизированная подготовка программ для станков с ЧПУ, (Справочник) / Р.Э. Сафраган, Г.Б. Евгеньев, А.Л. Дерябин и др.; под общей ред. Р.Э. Сафрагана. - К.: Техника, 1986. 191 с.

13. Бакулин, В. А. Проектирование токарного настольного станка с ЧПУ / В. А. Бакулин, Л. А. Захаров // Новые горизонты : VIII научно-практическая конференция с международным участием. Сборник материалов и докладов, Брянск, 20 марта 2021 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2021. – С. 9–14.

14. Федькин, Н. С. Исследование особенностей работы настольных фрезерных станков с ЧПУ и цифровых технологий для создания деталей простого и сложного контура / Н. С. Федькин, А. В. Канатов // Материалы докладов 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : в 2 т. / УО "ВГТУ". - Витебск, 2023. - Т. 2. - С. 42–45.

15. Шпаков, Н. П. Воспоминания и размышления о школьных настольных станках ЧПУ / Н. П. Шпаков // Актуальные вопросы и тенденции развития предметной области "Технология" // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Москва, 26 марта 2021 года / Отв. редактор М.Г. Корецкий, сост. Н.П. Шпаков. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ОнтоПринт", 2021. С. 233–237.

Кулешов Илья Михайлович, магистр, kuleshov387@gmail.com, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Макашин Дмитрий Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, dima.makashin@gmail.com, Россия, Омск, Омский государственный технический университет

ANALYSES OF FEATURES OF SMALL-SIZE MILLING MACHINES WITH CNC, SEARCH OF THEIR APPLICATION IN PRODUCTION

I.M. Kuleshov, D.S. Makashin

The article discusses the features and applications of small-size CNC milling machines in production. It demonstrates that modern small-size CNC milling machines are fully functional metal-working equipment that is comparable in quality and accuracy to their full-size counterparts. The article provides a detailed analysis of the advantages and disadvantages of small-size equipment in comparison to large-size equipment. Additionally, it presents a methodology for selecting a benchtop machine for manufacturing parts of varying complexity. The text considers the selection of equipment based on the developed methodology. It covers desktop milling machines, CNC, software, small-size milling machines, accuracy, and machining.

Key words: desktop milling machine, CNC, software, small-size milling machine, accuracy, machining.

Kuleshov Ilya Mikhailovich, magister, ikuleshov387@gmail.com, Russia, Omsk, Omsk State Technical University.

Makashin Dmitry Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, dima.makashin@gmail.com, Russia, Omsk, Omsk State Technical University

ВИБРАЦИОННЫЙ СТЕНД

Н.С. Карцев, И.М. Яропольский, В.А. Смирнов

В статье рассмотрено устройство простого вибростенда для испытания малогабаритных приборов. Приведены кинематическая и принципиальная электрическая схемы прибора. Стенд был представлен на выставке «Изобретатель и рационализатор – 2023», статья опубликована в рамках Договора № ДС/102 от 27 сентября 2023 г. на выполнение работы «Организация и проведение выставки «Изобретатель и рационализатор – 2023».

Ключевые слова: испытательный стенд, вибрация, вибростенд, управление двигателем, электрическая схема.

Испытания на вибрацию являются необходимой составляющей разработки и тестирования многих промышленных приборов и датчиков. Необходимость испытаний на вибрацию обусловлена тем, что при работе в реальных условиях вибрация может повлиять на работоспособность изделия. Вибрация может оказывать существенное влияние на многие измерительные приборы – гироскопы, акселерометры, измерители давления, и т.п. Для проведения таких испытаний используются вибростенды различной конструкции.

Рассматриваемая в данной статье установка была разработана студенческим конструкторским бюро на кафедре ПБС для исследования поведения различных устройств в условиях воздействия вибрации. Она состоит из основной рамы (испытательного стола), которая крепится на амортизаторы, основания, платы управления, платы усилителя (драйвера) и электродвигателя. Установка работает от двух напряжений питания величиной 5 и 30 В. Кинематическая схема устройства представлена на рисунке 1.

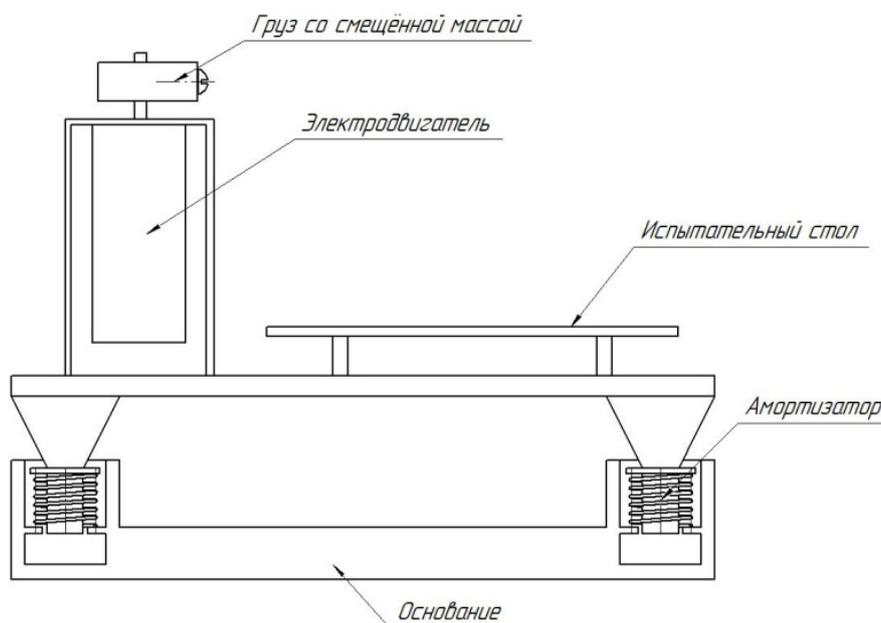


Рис. 1. Кинематическая схема вибростенда

Линейная вибрация создается в результате вращения на валу электродвигателя неуравновешенной массы. В установке используется тепловлагодостойкий микроэлектродвигатель-генератор ДГ-1ГА. Двигатель представляет собой двухфазную асинхронную электрическую машину. Достоинствами таких двигателей являются простота и надежность, обусловленные отсутствием коллекторного узла.

Основные характеристики ДГ-1ГА: напряжение питания обмоток возбуждения двигателя и генератора 36 В, обмотки управления — 30 В; частота напряжения питания 400 Гц; максимальная мощность двигателя 1 Вт; КПД – 2%; режим работы — продолжительный, реверсивный. Двигатель рассчитан на эксплуатацию в условиях повышенной жесткости.

Наличие встроенного тахогенератора позволяет без использования дополнительных датчиков организовать обратную связь по скорости для точной регулировки частоты вращения вала электродвигателя, которая и задает частоту вибрации.

Для питания двигателя необходимо формировать два гармонических напряжения со сдвигом фаз между ними 90° . Регулировка частоты вращения осуществляется путем изменения частоты питающих напряжений и одновременного изменения амплитуды этих напряжений по закону $\frac{U}{f} = const$. Чтобы обеспечить наибольший КПД установки, усилители мощности, питающие обмотки двигателя, работают в режиме D. Для формирования требуемой амплитуды, частоты и формы токов в обмотках двигателя используется метод широтно-импульсной модуляции.

Управляющие сигналы генерируются 32-битным микроконтроллером K1986BE91Q1 с ядром ARM Cortex-M3 фирмы ЗАО «ПКК Миландр». Упрощенные временные диаграммы сигналов управления представлены на рисунке 2. Сигнал управления второй обмоткой и смещён на 90° относительно сигнала управления первой.

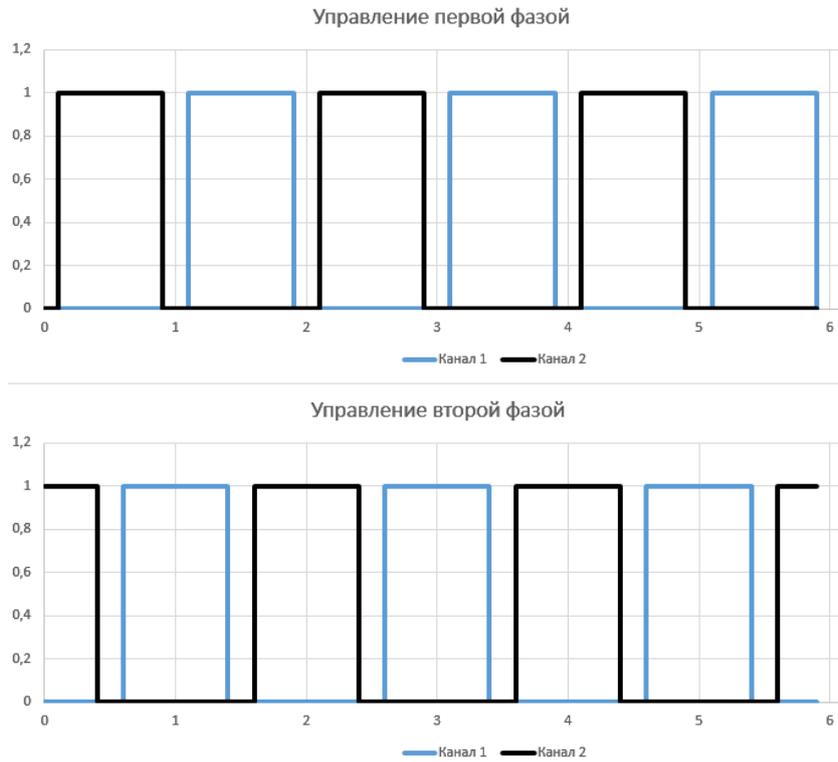


Рис. 2. Временная диаграмма сигнала управления

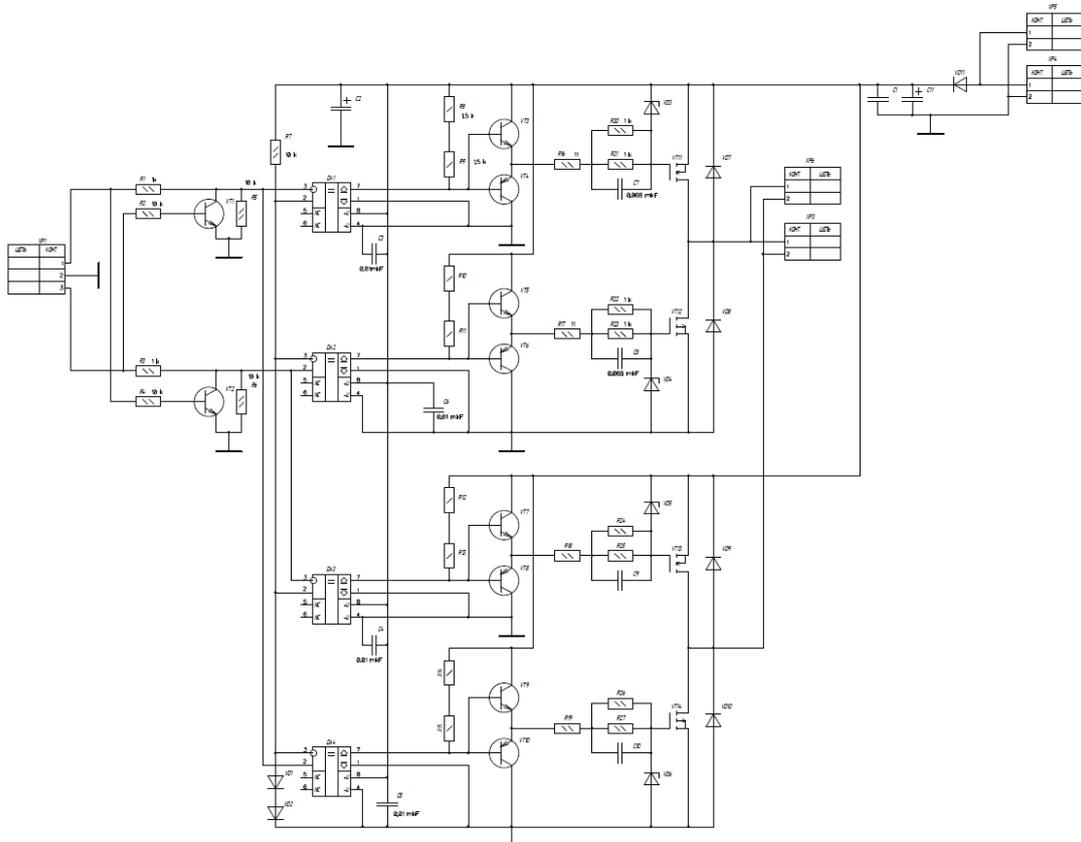


Рис. 3. Электрическая принципиальная схема драйвера управления двигателем

Между высокими логическими уровнями существует защитный интервал, обеспечивающий защиту от «сквозных» токов.

Задание частоты вращения двигателя (частоты вибрации) осуществляется двумя кнопками, расположенными на плате управления, путём их нажатия и удержания. Для увеличения частоты вращения кнопка «Up», для уменьшения – «Down».

Плата на микроконтроллере K1986BE91QI управляет мотором через мостовой усилитель класса D. Применение мостовой схемы усилителя обеспечивает получение в обмотках переменного тока при однополярном питании. В вибростенде используются две платы усилителя для питания двух обмоток.

Транзисторы VT1 и VT2 (КТ3130) служат для защиты от одновременного открытия выходных ключей путём подтягивания одного из входов компаратора на ноль тогда, когда туда не приходит логический сигнал высокого уровня. R1 и R3 используются для защиты выходов микроконтроллера от повышенного тока. R2 и R4 ограничивают ток базы транзисторов VT1 и VT2.

Микросхемы DA1 – DA4 представляют собой компаратор LM311S. Он используется для усиления напряжения, а также для увеличения быстродействия переключения. Независимо от приходящего на вход значения напряжения, на выходе присутствует напряжение близкое к значению напряжения питания микросхемы. Порог переключения компаратора задаётся делителем, состоящим из R7, VD1 и VD2. R7 ограничивает ток. Напряжение смещения задаётся двумя диодами, а точнее, падением напряжения на их р-п переходах (суммарно около 1,2...1,4В). Резисторы R8 и R15 используются для подтяжки выхода компаратора к положительному значению питания, так как он представляет собой выход с открытым коллектором.

Каскад VT3(5,7,9) и VT4(6,8,10) работает в режиме D, подключен по схеме «общий коллектор» и обеспечивает усиление сигнала, полученного с компаратора, по току. В качестве верхнего плеча применён транзистор КТ665А9, нижнего – КТ664А9.

Выходной каскад усилителя VT11 – VT14 также работает в режиме D и собран по схеме «общий сток» для усиления тока. Он выполнен на полевых транзисторах с изолированным затвором IRFB3806 (VT11(13)) и IRF5210 (VT12(14)). Стабилитроны VD3 – VD6 служат для ограничения напряжения на затворах полевых транзисторов для избегания их пробоя. Резисторы R16 – R27 ограничивают ток стабилизации этого напряжения. Конденсаторы C7 – C10 используются для увеличения скорости открытия транзистора, так как в это время конденсатор заряжается, а его сопротивление уменьшается. Диоды VD7 – VD10 служат для защиты полевых транзисторов от возникающего при переключении обмоток двигателя ЭДС.

Напряжение питания схемы драйвера составляет 30В. Конденсаторы C1 и C11 применены для сглаживания напряжения питания и защиты схемы от электрических помех. VD11 используется для защиты схемы от неправильного подключения напряжения питания.

К минусам данного вибростенда можно отнести зависимость амплитуды вибрации от частотной характеристики амортизационной платформы. Во время прохождения частоты её резонанса, амплитуда будет заметно увеличиваться. Этот недостаток возможно устранить путём добавления в систему обратной связи, чувствительным элементом которой будет выступать вибрационный датчик ДН-3. Он представляет собой пьезоэлектрический вибрационный преобразователь, который преобразует механические колебания в электрические сигналы, пропорциональные ускорению колеблющегося объекта. Он позволит контролировать не только частоту вибрации, но и её амплитуду.

Выравнивание амплитуды стола можно производить путём смещения частоты резонанса амортизационных опор. Для этого, в качестве демпфера, их стоит наполнить ферромагнитной жидкостью, которая будет изменять свою плотность под действием магнитного поля.



Рис. 4. Функциональная схема вибростенда с коррекцией амплитуды вибрации

Проведенные испытания макетного образца вибростенда подтвердили его работоспособность.

Статья опубликована в рамках Договора № ДС/102 от 27 сентября 2023 г, на выполнение работы «Организация и проведение выставки «Изобретатель и рационализатор – 2023».

Список литературы

1. Смирнов В.А., Лебедеко И.С. Электронные устройства приборов / 2-е изд. перераб. и доп. Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. 240 с.
2. 750 практических электронных схем: Справочное руководство. Пер. с англ./Сост. и ред. Р.Фелпс. М.: Мир, 1986. 584 с.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники», издание 4-е, переработ. М.: «Мир», 1998. 705 с.
4. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. М.: Мир, 1982. 512 с.
5. Щепетов А.Г. Теория, расчет и проектирование измерительных устройств: в 2-х частях: Часть 1. Теория измерительных устройств. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006. 248 с.
6. Масленников М.Ю. Соболев Е.А. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база. Справочник. Москва, 1993. Книга 1. 155 с.

Карцев Никита Сергеевич, студент, kartsevnikitka@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Яропольский Иван Максимович, студент, ivan_2002g@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Смирнов Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент, veld071@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

VIBRATION STAND

N.S. Kartsev, I.M. Yaropolsky, V.A. Smirnov

The article discusses the design of a simple vibration stand for testing small-sized devices. The kinematic and electrical circuit diagrams of the device are presented. The stand was presented at the exhibition «Inventor and Innovator – 2023», the article was published within the framework of Agreement No. DS/102 dated September 27, 2023, for the implementation of the work «Organization and holding of the exhibition «Inventor and Innovator – 2023».

Key words: test bench, vibration, vibration stand, engine control, electrical circuit.

Kartsev Nikita Sergeevich, student, kartsevnikitka@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Yaropolsky Ivan Maksimovich, student, ivan_2002g@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Smirnov Vladimir Aleksandrovich, candidate of technical sciences, docent, veld071@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.512
DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-482-483

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ САМОДЕЙСТВУЮЩИХ КЛАПАНОВ МАШИН ОБЪЁМНОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

С.С. Бусаров, И.С. Бусаров, Р.Э. Кобыльский

Проведённый обзорный анализ существующих конструкций самодельствующих клапанов показал разнообразие конструктивных исполнений. Однако все представленные конструкции содержат все основные детали – это запорный орган, седло, пружина и ограничитель подъёма. При этом различные конструкции клапанов адаптированы к различным условиям работы.

Ключевые слова: поршневой компрессор, самодельствующий клапан, ресурс, рабочий процесс

Клапаны машин объёмного принципа действия делятся по назначению на клапаны, которые служат для сообщения полости низкого давления с рабочей камерой, то есть для впуска рабочей среды в камеру сжатия – получили название клапаны всасывания; второй вид клапанов служит для сообщения рабочей камеры с камерой высокого давления, то есть для выпуска рабочего тела из камеры сжатия – получили название клапаны нагнетания. Работа самодельствующих клапанов основана на преодолении сил упругости, закрывающих клапан за счёт разности давления с одной и с другой стороны клапана. На рисунке 1 представлена принципиальная схема самодельствующего клапана.

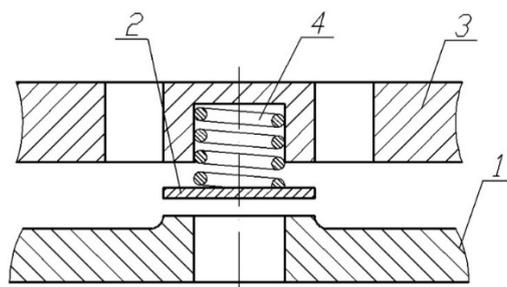


Рис. 1. Принципиальное устройство самодельствующего клапана: 1 – седло; 2 – запорный орган; 3 – ограничитель подъёма; 4 – пружина

Клапан работает следующим образом: в закрытом состоянии запорный орган 2 находится на седле 1 прижатый пружиной 4, при возникновении разности давлений до и после клапана достаточного, чтобы преодолеть жёсткость пружины 4 запорный орган начинает движение к ограничителю подъёма 3 (клапан начинает открываться) при полностью открытом клапане запорный орган прижат к ограничителю подъёма 3; как только перепад давления на клапане уменьшается до такого значения, что усилие пружины 4 превосходит результирующую газовых сил, пружина 4 закрывает клапан – перемещая запорный орган 2 к седлу 1.

Таким образом седло клапана служит для размещения запорного органа в моменты, когда клапан закрыт, то есть запорный орган прижат к седлу; запорный орган служит для перекрытия сечения клапана и изоляции рабочей камеры от полости всасывания или нагнетания; пружина обеспечивает прижатие запорного органа к седлу и возвращает запорный орган в исходное состояние при закрытии; ограничитель подъёма служит для обеспечения необходимого хода запорного органа.

Так работает с четырьмя составными частями практически любой самодельствующий клапан. Рассмотрим конструкции современных клапанов.

Основная часть. В настоящее время существует огромное множество различных конструкций самодельствующих клапанов. Например, для поршневых компрессоров среднего и высокого давления, применяют кольцевые самодельствующие клапаны [1].

Данная фирма (Hoerbiger) производит и поставляет дисковые и кольцевые самодельствующие клапаны с запорными кольцами из титанового материала работоспособность, которых составляет 10 000 ч [2].

Лепестковые клапаны рекомендовано применять для высокооборотных поршневых компрессоров (N более 1500 об/мин) [3].

В поршневых компрессорах высокого давления и малой производительности применяют плоский или сферический тарельчатый клапаны [3].



Рис. 2. Кольцевой клапан компании Hoerbiger



Рис. 3. Т-образный лепестковый клапан



Рис. 4. Тарельчатый клапан

Конструктивные элементы в приведенных выше клапанах выполнены из металлического материала. Но в современных конструктивных решениях по выполнению органов газораспределения стали применять элементы из неметаллических материалов (эластомеров), а именно для сопряжения седла и запорного органа, и ограничителя подъема – запорного органа.

Известны разработанные клапаны, швейцарской компанией Burckhardt Compression, которые снижают уровень шума и вибрации, за счет неметаллических тарелок [4]. Подходит для работы в сложных условиях применения с газами, содержащими масла и твердые частицы, а также с такими чистыми газами, как кислород. Оптимизированная зона потока уменьшает падение давления и повышает эффективность. По техническим данным данные клапаны применяются в компрессорах с частотой вращения не более 1000 об/мин, перепад давления до 170 бар, диапазон температур: от – 200 до +220 °С, с диаметрами клапанов от 40 до 383 мм. Достоинство данных клапанов:

выдающаяся производительность при эксплуатации с загрязненными газами, пониженное прилипание масла;

пониженная чувствительность к различного рода тепловым расширениям и влаге, содержащейся в газе; меньшая степень засорения, чем в дисковых клапанах при использовании загрязненных и влажных газов; улучшенная аэродинамика пути прохождения потока, снижающая падение давления и повышающая эффективность;

снижение уровня шума и вибрации;

сниженная чувствительность к перемене условий эксплуатации;

минимальный риск вторичных повреждений деталей компрессора в случае поломки;

металлические пружины защищены от потока газа неметаллическим корпусом тарелки.

При работе самодействующего клапана (всасывания или нагнетания), запорный элемент клапана при полном его открытии ударяется об ограничитель, что приводит к ударным нагрузкам, которые могут привести к повышенному износу сопрягающих элементов. Для решения данной проблемы устанавливают упругий элемент на ограничителе, для уменьшения ударных нагрузок.

Например, известен патент на полезную модель «Самодействующий сферический тарельчатый клапан» автора Б.И. Ингнатова (Республика Беларусь).



Рис. 5. Тарельчатый клапан Burckhardt Poppet Valve

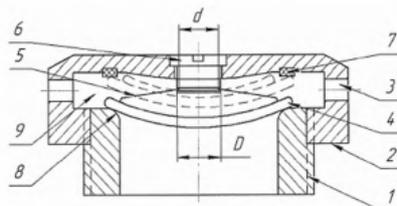


Рис. 6. Самодействующий сферический тарельчатый клапан: 1 – седло; 2 – ограничитель подъема; 3 – каналы для прохода газа; 4 – сферическая тарелка; 5 – плоская пружина; 6 – регулировочный винт; 7 – вставка из упругого материала; 8 – область посадки тарелки на седло; 9 – корпус клапана

Самодействующий сферический тарельчатый клапан содержит седло 1, ограничитель подъема 2 с каналами для прохода газа 3, закрывающую деталь в виде сферической тарелки 4, плоскую пружину 5 с нелинейной характеристикой упругости, регулирующий винт 6, вставку 7 из упругого материала.

Открытие этого клапана начинается в тот момент времени, когда скорость поршня близка к максимальной. Поэтому при быстром открытии клапана возможны сильные удары тарелки по ограничителю подъема. Для снижения ударных сил в момент посадки тарелки на ограничитель подъема он имеет вставку 7 из упругого материала. Так же для уменьшения ударных нагрузок запорный элемент клапана может быть выполнен из эластомерного материала.

Известен патент кольцевого самодействующего клапана автора О.К. Шкодзинского.

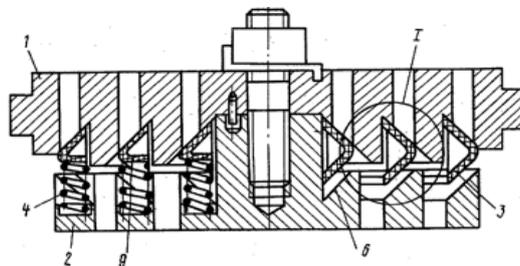


Рис. 7. Самодействующий сферический тарельчатый клапан

Клапан содержит седло 1, ограничитель 2 подъема и расположенный между ними кольцевой запорный орган 3, подпружиненный к седлу 1 местными пружинами 4 и поочередно контактирующий с посадочными поверхностями 5 и 6 седла 1 и ограничителя 2. Запорный орган имеет в сечении V-образную форму с вершиной 7, обращенной в сторону, противоположную от клапана, и снабжен ребрами 8 жесткости и гнездами 9 под пружины, расположенными со стороны ограничителя 2 подъема. Посадочные поверхности 5 и 6 выполнены коническими, соответственно профилю зарядного органа 3. Сам запорный орган выполнен неметаллическим. Цель изобретения – повышение экономичности и долговечности клапана. Запорный орган, ударяясь поочередно о седло и ограничитель, воспринимает ударные нагрузки, которые частично превращаются в напряжение сжатия кольца по периметру, что менее опасно для запорного органа.

Существуют клапаны, в которых предварительное поджатие запорного элемента осуществляется не пружиной, а парой магнитов. ООО "КСК-Сервис" производит, реализует дисковые, кольцевые и тарельчатые самодействующие клапаны с рабочей температурой до 200 °С и давлением нагнетания до 40 МПа. Ресурс данных клапанов составляет до 25 000 ч. Клапаны отличаются тем, что вместо пружины используются пара магнитов, автор изобретения Дударенко А.П.

Новая линейка клапанов для буровых насосов ООО «ОЗНА-Октябрьский механический завод» позволяет работать без стука и увеличить среднюю наработку на отказ на 10-15%, за счёт исключения удара тарели о крестовину седла. Ресурс работы таких клапанов более 5 000 ч [3].

Компания Дрессер-Рэнд разрабатывает и производит клапаны, устанавливающего новый уровень требований к надежности, сроку службы, эффективности, стоимости и сроку изготовления – клапан Магнум, который установлен в смазываемых и сухих компрессорах, перекачивающих газы от почти чистого водорода до метана и грязного углекислого газа при скоростях вращения от 327 до 1000 об/мин и давлениях нагнетания от 2,5 до 280 бар. ресурс работы клапана составляет 25 000 ч [3].

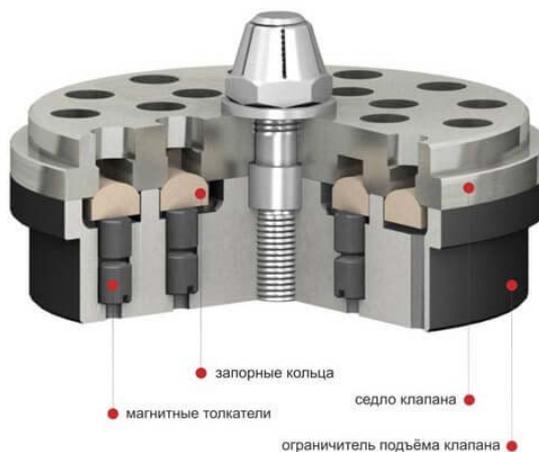


Рис. 8. Кольцевой клапан

Заключение. Рассмотренные конструкции самодействующих клапанов нашли широкое применение в различных типах компрессоров. В зависимости от конструкции те или иные схемы применяются для ступеней низкого давления и высокого, так прямооточные клапаны, обладающие меньшими гидравлическими потерями, нашли применение в ступенях низкого давления. Клапаны кольцевые и дисковые применяются в ступенях высокого давления.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00272.

Список литературы

1. Кондратьева Т.Ф., Исаков В.П. Клапаны поршневых компрессоров. Л.: Машиностроение, 1983-158 с.
2. Додин Ю.С., Клочков В.И., Лукьяница А.И. К 473 «Клапаны поршневых компрессоров». Учебное пособие для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 240801 «Машины и аппараты химических производств» / ГОУ ВПО «РХТУ им. Д. И. Менделеева», Новомосковский институт (филиал), Сост.: Додин Ю.С. Клочков В.И., Лукьяница А.И. Новомосковск, 2009. 40 с.
3. Андрианов А.А. Разработка методики расчета самодействующих клапанов поршневых компрессоров с учетом неплоскопараллельного движения запорного органа: автореф. дне. д-ра. техн. наук: 05.04.06 / Андрианов Андрей Александрович. Москва. 1996. 17 с.
4. Ваняшов А.Д. Результаты исследования газодинамических характеристик самодействующих клапанов поршневых компрессорных и расширительных машин / А.Д. Ваняшов, А.Н. Кабаков, С.В.Коваленко // Компрессорная техника и пневматика. 2004. № 5. С. 27-30.

Бусаров Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, bsi1980@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет, AuthorID (РИНЦ): 610336, AuthorID (SCOPUS): 51560987400,

Бусаров Игорь Сергеевич, ассистент, habr86@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет, SPIN-код: 5775-5330, AuthorID (SCOPUS): 57191038188,

Кобыльский Роман Эдуардович, ассистент, Россия, Омск, Омский государственный технический университет, AuthorID (РИНЦ): 3985-1096, AuthorID (SCOPUS): 57220077521

MODERN DESIGNS OF SELF-ACTING VALVES OF VOLUMETRIC PRINCIPLE MACHINES

S.S. Busarov, I.S. Busarov, R.E. Kobylsky

The conducted review analysis of the existing designs of self-acting valves showed a variety of design designs. However, all the presented designs contain all the main components - this is a locking organ, a seat, a spring and a lift limiter. At the same time, various valve designs are adapted to different working conditions.

Key words: reciprocating compressor, self-acting valve, resource, workflow.

Busarov Sergey Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, bsi1980@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University, AuthorID (RSCI): 610336, AuthorID (SCOPUS): 51560987400,

Busarov Igor Sergeevich, assistant, habr86@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University, SPIN code: 5775-5330, AuthorID (SCOPUS): 57191038188,

Kobylsky Roman Eduardovich, assistant, Russia, Omsk, Omsk State Technical University, AuthorID (RSCI): 3985-1096, AuthorID (SCOPUS): 57220077521

УСЛОВИЯ РАБОТЫ КЛАПАНОВ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

С.С. Бусаров, А.В. Недовенчаный, И.С. Бусаров, Р.Э. Кобыльский

В работе проведён анализ работы клапанов поршневых компрессоров. Выявлены основные негативные факторы, влияющие на эксплуатацию и продолжительность работы клапанов: температура, ударные нагрузки (скорость посадки запорного органа на седло) и усилие – в основном от газовых сил. Для применения в той или иной технологии соответствующих клапанов предлагаются готовые решения, проверенные на эксплуатации компрессорного оборудования.

Ключевые слова: самодействующий клапан, условия работы, температура газа, скорость запорного органа, перепад давления на клапане.

В поршневых компрессорных и расширительных объёмного принципа действия применяются в основном прямоточные, кольцевые, ленточные и тарельчатые клапаны индивидуального или комбинированного исполнения. При размещении клапанов в ступени необходимо соблюдать ряд требований, как правило, противоречащих друг другу. С одной стороны, при заданной поверхности ступени геометрическое проходное сечение клапанов должно быть близким к максимуму, что обеспечивает минимальные скорости при течении газа через клапаны, а следовательно, и их минимальное газодинамическое сопротивление. С другой стороны, такой подход приводит к повышенному мертвому пространству и к снижению производительности ступени [106].

Клапаны в машинах объёмного действия по функциональному назначению разделяются на два типа: клапаны, предназначенные для впуска газа в рабочую камеру (клапаны впуска, всасывающие клапаны) и клапаны для выпуска газа из рабочей камеры (выпускные и нагнетательные клапаны).

На эффективность рабочего процесса машины объёмного действия влияют следующие основные факторы [1-10]:

1. Мертвый объем клапана.
2. Гидравлические сопротивления в клапанах.
3. Плотность в закрытом состоянии.
4. Быстрота открытия и закрытия клапана.

Так по данным [4, 7, 9, 10,], наибольшее влияние на энергоэффективность в период длительной эксплуатации оказывает состояние клапанов.

По статистическим данным (ООО «Сумский машиностроительный завод»: поршневой компрессор 4М16-45/35-55, АО «Компрессор»: дизель-компрессор ДК10-2Р, Пензенский завод компрессорного машиностроения: поршневые компрессоры типа 5Г) наиболее часто проводился ремонт, очистка или замена клапанов (от 30% до 63% поломок от общего числа ремонтов).

Анализ данных [4, 7, 9], показывает, что общая наработка часов до отказа самодействующих клапанов зависит от их конструкции и условий работы.

Основная часть. При работе клапанов всасывания и нагнетания основной фактор, влияющий на его ресурс работы, является скорость посадки клапана на седло и удар об ограничитель подъема. При исполнении материалов запорного органа, седла, ограничителя подъема из металла, вследствие высоких скоростей посадки (более 3 м/с), происходит повышенный износ сопрягающихся элементов, приводящий к меньшей герметичности клапанов в закрытом состоянии и как следствие уменьшение интегральных характеристик компрессора.

Герметичность самодействующих клапанов зависит от их конструктивных особенностей, технологии изготовления и материалов пары сопряжения «седло – запорный орган, ограничитель подъема – запорный орган». Известно [1], что не герметичность закрытых всасывающих и нагнетательных клапанов приводит к снижению производительности ступени компрессора и к нарушению теплового режима компрессора, обусловленного нарастанием температур нагнетаемого газа, вследствие перетечек из полости нагнетания в рабочий объем цилиндра. В ступенях с не герметичными всасывающими клапанами в процессах сжатия, нагнетания горячий газ будет перетекать из рабочего пространства в полость всасывания, увеличивая температуру газа, всасываемого в цилиндр в последующем рабочем цикле, что в последствии, способствует росту температуры газа в цилиндре в начале и конце процесса сжатия, а соответственно, и температуры нагнетаемого газа. Это будет происходить до того момента пока не установится новый тепловой режим, и как следствие ухудшение интегральных характеристик поршневого компрессора. Самый простейший и распространенный способ что бы определить герметичность клапанов является метод статических продувок [1,11], по которому определяют скорость истечения газа из определенного объема. Для того чтобы охарактеризовать утечки газа через закрытые клапаны ввели понятие условного зазора $\delta_{\text{усл}}$, для самодействующих клапанов измеряется в микрометрах. Под условным зазором принято понимать зазор по периметру прилегания запорного органа к седлу клапана. Для различных технически исправных клапанов, считается, что значения условного зазора лежат в пределах от 0,25 до 1 мкм [12].

При работе самодействующего клапана при его открытии и закрытии возникают удары запорного органа о седло и ограничитель подъема. Данные нагрузки являются динамическими. Вследствие ударных нагрузок может происходить разрушение запорного органа клапана, что приведет к росту утечек и как следствие ухудшение интегральных характеристик компрессора. Энергия удара будет зависеть от массы запорного органа и его скорости перед ударом о седло или ограничитель подъема. Для того чтобы уменьшить ударные нагрузки можно уменьшать массу запорного органа и снижать скорости посадки на седло или ограничитель подъема. Для различных клапанов принято считать, что средняя скорость запорного органа при движении от седла до ограничителя подъема не должна превышать 3 м/с, при движении – от ограничителя подъема до седла – 1 м/с [13]. На ряду с динамическими нагрузками возникающие в клапане, существуют и статические нагрузки, которые возникают на запорном органе за счет перепада давлений в закрытом клапане.

Наличие примесей (влага, масло и др.) в сжимаемом газе также уменьшает срок службы самодействующих клапанов. Воздействие влаги на металлы имеет разную природу, но одинаковый конечный результат – разрушение исходной структуры материала. В металлах это происходит за счет коррозии. Атмосферная влага, всасывае-

мая компрессором, способна вызывать коррозию в трубопроводах, уплотнениях и арматуре, что на 30-40% увеличивает расход сжатого воздуха [14]. Количество влаги, всасываемой компрессорной установкой, достигает значительных величин. Например, при относительной влажности 70% и температуре всасывания 32°C в компрессоре производительностью 14 м³/мин и давлением 8 бар (изб.) за 8-часовую смену выделяется более 160 л конденсата [15]. Появление сконденсировавшейся капельной влаги в сжатом воздухе вызывает очень серьезные эксплуатационные проблемы. Влажность воздуха может быть выражена через показатели относительной (%) и абсолютной (г/м³) влажности, а также температуры точки росы. Относительная влажность воздуха определяется как отношение массы водяного пара в воздухе к массе водяного пара в воздухе в насыщенном состоянии при данной температуре. Воздух может содержать в себе влагу в виде пара тем больше, чем больше его температура. Однако с ростом давления эта способность воздуха уменьшается.

Из производственной эксплуатации самодействующих клапанов в поршневых компрессорах известно, что наиболее недолговечным элементом является запорный орган клапана.

Во всем многообразии конструктивных исполнений самодействующих клапанов, их составные детали изготовлены из металлических элементов, такие клапаны имеют условный зазор в допустимых пределах для обеспечения режимной работы поршневого компрессора. Для обеспечения более высокой герметичности самодействующих клапанов, некоторые элементы выполняют из не металлических элементов. Применение эластомерных элементов в самодействующих клапанах позволяет создать надежные и малогабаритные конструкции, при этом герметизируемая среда может иметь давление до 40 МПа.

Обсуждения. Обобщим данные по параметрам и условиям работы клапанов для основных машин объемного принципа действия.

Кольцевые клапаны [1,2] применяют главным образом на ступенях высокого давления в газовых поршневых компрессорах (до 5,0 ÷ 10,0 МПа). Замыкающий элемент кольцевых клапанов выполнен в виде плоских кольцевых пластин наружным диаметром 80 - 250 мм, шириной 10 - 12 мм и толщиной 1-3 мм. Пластина садится на седло, а при подъеме упирается в ограничитель подъема и после процесса всасывания или нагнетания, пружины возвращают пластины обратно. Кольцевые клапаны выпускаются в двух исполнениях: типа КК – кольцевые с концентрическими пружинами и типа КТ – кольцевые с точечными пружинами. С переходом на более прогрессивные оппозитные компрессорные цилиндры с повышенной частотой вращения, кольцевые клапаны в меньшей степени стали удовлетворять предъявляемым к ним требованиям. Кольцевые клапаны, обладая целыми проходными сечениями и большими подъемными массами, увеличивают потребляемую мощность компрессора и имеют невысокий срок службы. Поэтому, кольцевые клапаны постепенно заменяются дисковыми и прямоточными клапанами с большими проходными сечениями без пружины. Дисковые клапаны характеризуются тем, что защищающий элемент выполнен в виде плоских дисков с расположенными по концентрическому окружностям прорезьями для прохода газа. Диаметр дисков обычно составляет 50-150 мм, толщина 1-3 мм. В зависимости от диаметра диска количество рядов концентрических прорезей может достигать восьми.

Достоинством новейших конструкций дисковых клапанов является большая высота подъема пластины по сравнению с кольцевыми клапанами, что достигается наличием демпферных пластин и применением пружин переменной жесткости. Полосовые клапаны обеспечивают герметичность с самопружинящимися пластинами, представляющими собой прямоугольные полоски толщиной 0,4 - 1 мм [6]. Высота подъема в центре пластины значительно больше, чем у ее концов. Такая деформация пластины обуславливает ее возвращение в исходное состояние за счет собственных сил упругости. Использование таких клапанов ограничено только компрессорами низкого давления. При больших давлениях 5,0 ÷ 10,0 МПа сила упругости быстро исчезает и пластины ломаются. Язычковые клапаны обеспечивают герметичность с пластинами, один конец которых жестко защемлен. Форма пластин разнообразна и определяется конструкцией седла. Применяются язычковые клапаны только на компрессорах низкого давления или на вакуумных компрессорах. Наиболее прогрессивным типом пластинчатых клапанов являются прямоточные клапаны, которые применяются, главным образом, на воздушных компрессорах общего назначения, поршневых компрессорах магистральных газопроводов, газлифтных и дожимных компрессорных станциях [3,4]. Во всех этих случаях они практически вытеснили самодействующие клапаны других конструкций.

Клапаны работают в условиях ударной нагрузки, поэтому к материалам их деталей предъявляют высокие требования. Материалом для седел клапанов служит: - при перепаде давлений до 4,0 МПа - чугуны СЧ 21, СЧ 32 и магниевый; - при перепаде свыше 4,0 МПа - стали 45 и 40Х; - при высоких и сверх высоких перепадах давлений - сталь 30 ХМА и специальные высоколегированные стали. Уплотняющие кромки стальных седел подвергаются закалке ТВЧ до HRC 35-40. Ограничители подъема пластины отливают из чугунов тех же марок, что и седла, или изготавливают из стали 40Х. Седла прямоточных клапанов отливают из алюминиевого сплава АЛ14В, для клапанов с повышенным перепадом давлений и больших диаметров изготавливают из стали 35, 40, 45. Класс шероховатости поверхности уплотняющих кромок седел кольцевых и дисковых клапанов должен быть не ниже 9а.

Материалом для пластин кольцевых и дисковых клапанов служит листовая сталь Х15Н9Ю, 3Х13, 30ХГСА при этом на поверхности не допускается наличие волосовин, закатов, расслоений. В заготовке металла перед прокатом проверяют ультразвуком отсутствие в ней внутренних пороков. Изготовление пластин производят штамповкой с припуском на механическую обработку. В процессе шлифования на поверхности пластины возникают растягивающие напряжения до 200 МПа. Эти напряжения, а также риски, возникающие при шлифовании, особенно опасны, если они направлены по радиусу пластины. Поэтому после чистового шлифования пластины проходят повторный отпуск для снятия этих напряжений. При проведении любой термообработки пластины размещают в зажимные приспособления. Затем пластина поступает на виброгалтовку во вращающиеся барабаны, где происходит удаление заусенцев, снятие острых кромок, наклеп рабочей поверхности. В результате повторного отпуска поверхностные напряжения от шлифовки уменьшаются в 3 раза, а после голтовки полностью снимаются. Класс шероховатости поверхности пластины после виброгалтовки не ниже 8в. В качестве материала для пластин кольцевых и дисковых клапанов применяют сплавы титана, пластины из него менее массивны. В последние годы для изготовления пластин кольцевых и дисковых клапанов применяют стеклопластики, текстолит, нейлон при этом толщину пластины выбирают в двое большей, чем из стали. Пластины из этих материалов легче, менее подвержены разрушениям при ударах, коррозионноустойчивы, удовлетворительно работают при газах запыленных или выделяющих смолистые осадки. Но эти материалы не пригодны для эксплуатации при температуре выше 120 °С. Запорные органы тарельча-

тых клапанов сверхвысокого давления выполняют из стали 20X2H4A, имеющей $\sigma_B = 1200$ МПа, $\sigma_T = 960$ МПа, НВ 350 (после цементации). Для изготовления пластин полосовых и прямоточных клапанов применяется пружинная термообработанная лента из сталей 70C2XA, У8А, У10А. Хороший результат даёт применение ленты из нержавеющей стали Х15Н9Ю. Высокая надёжность пластины достигается сочетанием высокой механической прочности с противокоррозионной стойкостью. Важнейшим требованием к ленте для пластин, особенно прямоточных клапанов, является ее плоскостность, рулонность и пропеллерность ленты недопустимы. Для повышения срока службы пластин важно, чтобы сошлифованные кромки ленты были тщательно закруглены. Выполнение поперечных порезов в пластинах прямоточных клапанов рекомендуется производить анодномеханическим способом или штамповкой с последующей электролитической обработкой в специальных станках для удаления заусенцев и скругления кромок.

При этом ограничение по температуре сжимаемого газа приводит к тому, что диапазон работ клапанов возможен от 213 до 450 К, то есть при разности температур составляет до 250 К [10,11].

Дисковые клапаны применяются в поршневых компрессорах со смазкой и без смазки цилиндров, скорость вращения коленчатого вала которых до 2500 об/мин., а перепад давления – до 25 МПа. В зависимости от условий работы дисковые клапаны изготавливаются с металлическими или пластмассовыми пластинами. Чаще всего дисковые клапаны с пластмассовыми пластинами применяются в компрессорах для сжатия агрессивных или сильно загрязненных газов, где работа клапанов других типов менее надежна. Пластмассовые пластины изготавливаются из высококачественных, ударо - прочных и износостойких полимеров, армированных стекловолокном. При использовании дисковых клапанов с пластмассовыми пластинами температура сжимаемого газа снижается на 10-15° С, уровень шума снижается на 5-8 дБ. С целью повышения долговечности и надежности дисковые клапаны могут изготавливаться с одной или несколькими (до 3) демпферными пластинами [4-7].

Самодействующие дисковые клапаны с пластмассовыми пластинами, из высококачественного синтетического материала, предназначены для поршневых компрессоров, сжимающих водородсодержащие, загрязненные и коксующие газы, где другие типы клапанов работают неудовлетворительно. Пластмассовые пластины при работе меньше прилипают к уплотнительным и ограничительным поверхностям, сами пластины менее покрываются нагаром и различными коксующими продуктами, а попадание твердых частиц между пластинами и уплотнительными поверхностями не вызывает поломок пластин, так как материал, из которого они изготовлены, более эластичный, чем стальных пластин и поэтому дисковые клапаны при работе не ухудшают своей плотности (герметичности), тем самым увеличивается долговечность клапанов. По температурному режиму работы пластины бывают трех исполнений: на 180°С, 200°С, 250°С. Дисковый клапан с пластмассовыми пластинами применяется на компрессорах, где перепад давления на клапане не более 200 атм. и обороты коленчатого вала не более 1000 об/мин [6,7]. Долговечность работы таких клапанов зависит от конкретных условий работы, от степени загрязнения сжимаемого газа, частоты вращения коленчатого вала и в несколько раз превышает долговечность дисковых клапанов с металлическими пластинами. Дисковый клапан со стальными пластинами предназначен для воздушных и газовых поршневых компрессоров со смазкой и без смазки цилиндров, эксплуатируемых в широком диапазоне давления. Пластины дисковых клапанов выполнены в виде диска, снабженного дуговыми окнами для прохода газа. Такие пластины позволяют увеличить проходное сечение в клапане, уменьшить высоту подъема пластины и тем самым улучшить технико-экономические показатели компрессора.

При этом скорости движения пластин клапанов в момент удара о седло достигают значений 3 м/с [16,17].

Выводы. Проведя анализ условий работы клапанов поршневых компрессоров можно выделить те факторы, которые имеют определяющее влияние на выбор материалов, режимов работы и влияющие на эксплуатацию и долговечность клапанов:

Перепад давления на клапане до 20МПа.

Температурный диапазон работы от 213 до 450 К, при разности температур до 250 К.

Скорости посадки запорного органа до 3 м/с.

Данные факторы необходимо учитывать при проектировании и особенностях технологии эксплуатации конкретного компрессорного оборудования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00272.

Список источников

1. Plastinin P.I. Piston Compressors. in 2 Volumes. 1. Theory and Calculation. (Moscow: Kolos, 2000). (in Russian).
2. Pont A., López J., Rigola J. Pérez-Segarra C.D. Numerical dynamic analysis of reciprocating compressor mechanism. Parametric studies for optimization purposes, Tribology International, 2017, p.1-14.
3. Mara N.E. Reis, Hanriot S. Incompressible pulsating flow for low Reynolds numbers in orifice plates. Flow Measurement and Instrumentation. 2017. p. 146-157.
4. SPIEGL Bernhard, STEINRUCK Peter, MACHU Gumther, et al. Method of stepless capacity control of a reciprocating piston compressor and piston compressor with such control: USA, US2004/0091365A1[P/OL]. 2003-09-17[2004-05-13]. <http://www.uspto.gov/Patents/process/search/>.
5. HABING R A, PETERS M C. An experimental method for validating compressor valve vibration theory[J]. Journal of Fluids and Structures, 2006, 22(5): 683–697.
6. Şahin Ç., Kerpiçi H., Karabay A. Ya., Karahan K. Investigation of Discharge Flow and Force Coefficients in Hermetic Reciprocating Compressors / trans. from Engl. M. A. Fedorova // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation Rocket and Power Engineering. 2020. Vol. 4, no. 2. P. 96–103. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-2-96-103.
7. John MacLaren, F. T., Kerr S.V., Tramcheck A.B. Modelling of compressors and valves / Proceedings Institute of Refrigeration. – London, 1974. – 1975.
8. Luszczycski, M. "Developed Mathematical Model of the Self-Acting Valves of the Reciprocating Compressor and Its Application for Tongue Valves" (1992). International Compressor Engineering Conference. P. 918. <http://docs.lib.purdue.edu/icec/918>.
9. MacLaren, John F. Modelling of compressors and valves / Proceedings Institute of Refrigeration. – London, 1974. – 1975.

10. Maelaren J, HerrS., Hoare R. Optimization of compressor valve using «Complex» method. «Proceedings of the 4978 Purdue Compressor' Tehnology Conference». West Lafayette, Purdue University, 1978.
11. Soedel W. Design and Mechanics of Compressor Valves. West Lafayette: Ray W. Herrick Laboratories of Purdue University, 1984. 174 p.
12. Pereira Evandro L. L., Deschamps C. J. A Theoretical Account of the Piston Influence on Effective Flow and Force Areas of Reciprocating Compressor Valves // International Compressor Engineering Conference. 2010. Paper 2010.
13. Lohn S. K., Ernane S., Beppler D. L., Deschamps C. J. Effect of Fluid Flow Inertia and Backflow on the Effective Force and Flow Areas of Reed-Type Valves // International Compressor Engineering Conference. 2018. Paper 2596.
14. Mu G., Wang F., Mi X., Gao G. Dynamic modeling and analysis of compressor reed valve based on movement characteristics // Applied Thermal Engineering. 2019. Vol. 150. P. 522–531. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.01.024.
15. Touber S. A Contribution To The Improvement Of Compressor Valve Design. PhD Thesis, Delf University of Technology, 1976.
16. Pont A., López J., Rigola J. Pérez-Segarra C.D. Numerical dynamic analysis of reciprocating compressor mechanism. Parametric studies for optimization purposes, Tribology International, 2017. P. 1-14.
17. Mara N.E. Reis, Hanriot S. Incompressible pulsating flow for low Reynolds numbers in orifice plates. Flow Measurement and Instrumentation. 2017. P. 146-157

Бусаров Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, bssi1980@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет, AuthorID (РИИЦ): 610336, AuthorID (SCOPUS): 51560987400,

Недовенчаный Алексей Васильевич, канд. техн. наук, старший преподаватель, lonewolf_rus88@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет, AuthorID (РИИЦ): 762474, AuthorID (SCOPUS): 57191035621,

Бусаров Игорь Сергеевич, ассистент, habr86@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет, SPIN-код: 5775-5330, AuthorID (SCOPUS): 57191038188,

Кобыльский Роман Эдуардович, ассистент, Россия, Омск, Омский государственный технический университет, AuthorID (РИИЦ): 3985-1096, AuthorID (SCOPUS): 57220077521

OPERATING CONDITIONS OF PISTON COMPRESSOR VALVES

S.S. Busarov, A.V. Nedovenchany, I.S. Busarov, R.E. Kobylsky

The work analyzes the operation of valves of reciprocating compressors. The main negative factors affecting the operation and duration of the valves have been identified: temperature, shock loads (the rate of landing of the locking body on the seat) and force – mainly from gas forces. Ready-made solutions are offered for use in a particular technology of the corresponding valves, tested on the operation of compressor equipment.

Key words: self-acting valve, operating conditions, gas temperature, shut-off valve speed, pressure drop on the valve.

Busarov Sergey Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, bssi1980@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University, AuthorID (RSCI): 610336, AuthorID (SCOPUS): 51560987400,

Nedovenchany Alexey Vasilyevich, candidate of technical sciences, senior lecturer, lonewolf_rus88@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University, Russia, AuthorID (RSCI): 762474, AuthorID (SCOPUS): 57191035621,

Busarov Igor Sergeevich, assistant, habr86@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University, SPIN code: 5775-5330, AuthorID (SCOPUS): 57191038188,

Kobylsky Roman Eduardovich, assistant, Russia, Omsk, Omsk State Technical University, AuthorID (RSCI): 3985-1096, AuthorID (SCOPUS): 57220077521

ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ КОМПАКТНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН НА БАЗЕ ТИХОХОДНЫХ КОМПРЕССОРОВ

С.С. Бусаров, А.В. Недовенчаный, А.А. Капелюховская, И.В. Веймер, И.А. Рябов, А.Е. Гаглоева

В современных холодильных машинах значительные массогабаритные показатели имеет конденсаторный узел. В последнее время ведутся работы по созданию компрессоров, в которых возможна конденсация рабочего тела, причем такие компрессоры не боятся гидроудара. Исключение из схемы конденсатора, за счёт совмещения процесса сжатия и конденсации в компрессоре позволит снизить массогабаритные параметры холодильной установки на 20...60%.

Ключевые слова: холодильный компрессор, холодильный цикл, конденсатор, массогабаритные параметры холодильной установки.

В современном мире существуют различные классификации холодильных машин (например, компрессорно-конденсаторные блоки, чиллеры, фанкойлы и другие) и сферы их применения: от охлаждения продуктов на прилавках и в быту до охлаждения установок, стоимостью миллионов рублей.

Рассмотрим простейший цикл холодильной машины. Принципиальная схема компрессионного цикла охлаждения показана на рис. 1 [1-3].

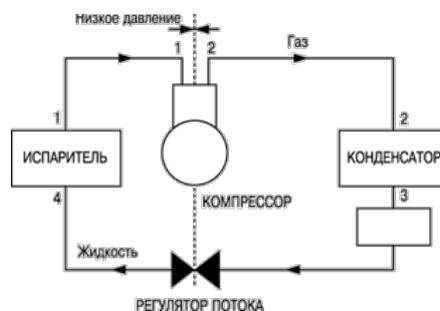


Рис. 1. Схема компрессионного цикла охлаждения

Начнем рассмотрение работы цикла с выхода испарителя (участок 1-1). Здесь хладагент находится в парообразном состоянии с низким давлением и температурой. Парообразный хладагент всасывается компрессором, который повышает его давление и температуру (участок 2-2). Далее в конденсаторе горячий парообразный хладагент охлаждается и конденсируется, то есть переходит в жидкую фазу (передавая тепло хладагента в окружающую среду, именно поэтому конденсатор находится в горячем состоянии (как например, задняя часть холодильника)). Конденсатор может быть либо с воздушным, либо с водяным охлаждением в зависимости от типа холодильной системы.

На выходе из конденсатора (точка 3) хладагент находится в жидком состоянии при высоком давлении. Размеры конденсатора выбираются таким образом, чтобы газ полностью сконденсировался внутри конденсатора. Поэтому температура жидкости на выходе из конденсатора оказывается несколько ниже температуры конденсации. Переохлаждение в конденсаторах с воздушным охлаждением обычно составляет примерно плюс 4-7°C. При этом температура конденсации примерно на 10-20°C выше температуры атмосферного воздуха.

Затем хладагент в жидкой фазе при высоком давлении поступает в регулятор потока, где давление смеси резко уменьшается, часть жидкости при этом может испариться, переходя в парообразную фазу. Таким образом, в испаритель попадает смесь пара и жидкости (точка 4).

Жидкость кипит в испарителе, отбирая тепло от окружающего воздуха, и вновь переходит в парообразное состояние (так как тепло отбирается у внешней среды, то испаритель находится в охлажденном состоянии).

Размеры испарителя выбираются таким образом, чтобы жидкость полностью испарилась внутри испарителя. Поэтому температура пара на выходе из испарителя оказывается выше температуры кипения, происходит так называемый перегрев хладагента в испарителе. В этом случае даже самые маленькие капельки хладагента испаряются и в компрессор не попадает жидкость. Следует отметить, что в случае попадания жидкого хладагента в компрессор, наступает "гидроудар", при котором в лучшем случае нужно будет заменить клапаны, а в худшем возможны повреждения и поломки как незначительные, так и устраняемые только капитальным ремонтом компрессора [4,5]. Перегретый пар выходит из испарителя (точка 1), и цикл возобновляется. Таким образом, хладагент постоянно циркулирует по замкнутому контуру, меняя свое агрегатное состояние с жидкого на парообразное и наоборот. На стороне высокого давления находятся все элементы, работающие при давлении конденсации. На стороне низкого давления находятся все элементы, работающие при давлении испарения.

Несмотря на то, что существует много типов компрессионных холодильных машин, принципиальная схема цикла в них практически одинакова.

Рассмотрим основные направления и перспективы развития холодильных машин.

Основная часть. Как известно, конденсатор служит для преобразования горячего пара в жидкое его состояние и последующее охлаждение ее (что дополнительно потребляет электроэнергию). Данный узел холодильной машины является сложной конструкции, что усложняет холодильную машину. Новизна этой проблемы заключается в том, что для нормального использования необходимо использовать дополнительное выносное оборудование (например, задняя часть холодильника или изделия, которые вешаются на стены зданий или которые размещаются на крышах). Что, если попробовать удалить данных из холодильной машины?

После «вырезания» конденсатора из контура, уменьшится потребление электроэнергии, улучшится строение холодильной машины, которое не будет требовать монтажа дополнительного оборудования. Но для реализации этой идеи необходимо компенсировать отсутствие конденсатора. Например, установить дополнительные дросселирующие устройства, газ будет задерживаться в трубопроводах, поэтому будет увеличиваться теплообмен с окружающей средой. И горячий пар, минуя жидкую фазу, переходить сразу к испарителю (мощность его можно немного повысить).

Если не выполнить компенсацию отсутствия конденсатора, то появятся такие проблемы как:

Перегрев компрессора.

Неравномерное охлаждение (хладагента).

Риск повреждения компонентов холодильника.

Одним из решений по исключению конденсатора из схемы холодильной машины может стать применение тихоходного компрессора, в котором возможно осуществить конденсацию рабочего тела [6].

Как показывают характеристики существующих холодильных машин исключение конденсатора позволит снизить массогабаритные показатели всей установки на 20...50%.

При этом LgP-i диаграмма может иметь вид представленный на рис.2 [7].

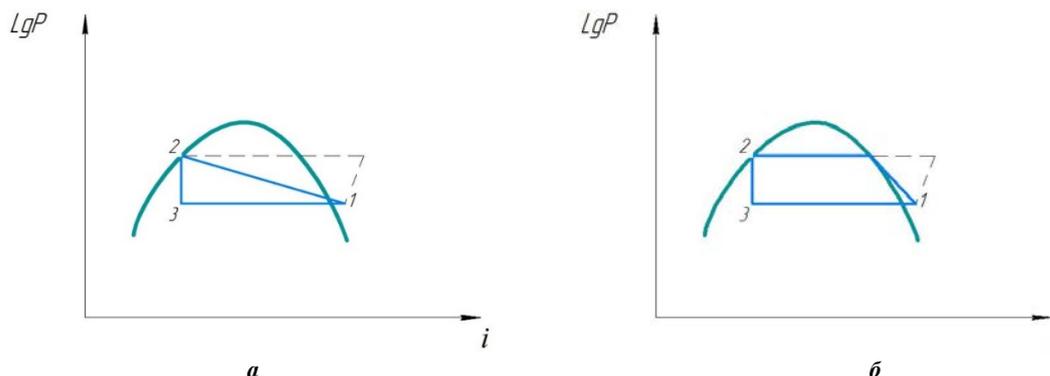


Рис. 2. Цикл холодильной машины с конденсацией рабочего тела в камере сжатия компрессора: 1-2 Сжатие с конденсацией; 2-3 Дросселирование; 3-1 Испарение

Представленный вид возможного протекания рабочего процесса в холодильной машине говорит о дополнительной экономии энергии за счёт организации конденсации рабочего тела в камере поршневого компрессора.

Заключение. Таким образом проведённые исследования показали перспективное направление совершенствования холодильных установок, за счёт исключения конденсатора из схемы. Создаваемые установки получили название - компактных холодильных машин. Применение в таких машинах тихоходных компрессоров с возможностью конденсации рабочего тела в камере сжатия позволит исключить из схемы теплообменник – конденсатор или, по крайней мере снизить на него нагрузку. Это в свою очередь приведёт к снижению массогабаритных показателей на 20...50%.

Выводы. Представленные результаты свидетельствуют о перспективах разработки компактных холодильных машин при отсутствии конденсатора по причине получения жидкой фазы хладагента в рабочей камере тихоходного длинноходового компрессора.

Окончательный вывод можно сделать по результатам разработки модели с двухфазным рабочим телом и по результатам проведения экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Бусаров С.С. Оценка эффективности парокомпрессионных холодильных машинах с квазиизотермическим сжатием природных хладагентов / Бусаров С.С., Юша В.Л., Сухов Е.В. // КАЗАХСТАН-ХОЛЮД 2018: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Алматы: АТУ, 2018. С.210 –215.
2. Строммен И., Бредесен А. М. и др. Холодильные установки, кондиционеры и тепловые насосы для XXI века // Холодильный бизнес. – 2000. – № 5. – С. 8-10.
3. Холодильные машины: Учебник для студентов втузов специальности «Техника и физика низких температур» / Под общ. ред. Л.С. Тимофеевского. СПб.: Политехника, 2006. 944 с.
4. Теоретические основы хладотехники. Часть 1. Термодинамика / С.Н. Богданов, Э.И. Гуйго, Г.Н. Данилова и др.: Под ред. Э.И. Гуйго. М.: Колос, 1994. 288 с.
5. А.В. Бараненко, В.С. Калюнов, А.Я. Эглит Холодоснабжение пищевых производств: Учебное пособие – СПб.: СПбГУНиПТ, 2001. 69с.
6. Бусаров С.С. Теоретический анализ эффективности применения квазиизотермического сжатия природных хладагентов / Бусаров С.С., Юша В.Л., Сухов Е.В. // VIII Междунар. научн.-техн. конф. «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке»: Материалы конференции. СПб.: Университет ИТМО, 2017. С. 23-27.
7. Пат. 2694104 Российская Федерация, МПК F25B 1/00. Холодильная машина и способ её работы / Юша В. Л., № 2022103679, заявл. 14.02.2022; опубл. 02.02.2023. Бюл. № 4.

Бусаров Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, bssi1980@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Недовенчаный Алексей Васильевич, канд. техн. наук, доцент, lonewolf_rus88@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Капелюховская Александра Александровна, старший преподаватель, shipunovaa@mail.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет, SPIN-код: 2410-8153, AuthorID (РИНЦ): 684484

Веймер Иван Вячеславович, студент, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Рябов Илья Александрович студент, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,

Гаглоева Анжелика Ефремовна, канд. техн. наук, доцент, Россия, Омск, Омский государственный технический университет, SPIN-код: 1612-8089, AuthorID (РИНЦ): 719356

THE POSSIBILITY OF CREATING COMPACT REFRIGERATING MACHINES BASED ON LOW-SPEED COMPRESSORS

S.S. Busarov, A.V. Nedovenchany, A.A. Kapelyukhovskaya, I.V. Weimer, I.A. Ryabov, A.E. Gagloeva

In modern refrigerating machines, the condensing unit has significant weight and size indicators. Recently, work has been underway to create compressors in which condensation of the working fluid is possible, and such compressors are not afraid of water hammer. The exclusion of the condenser from the circuit, due to the combination of the compression and condensation process in the compressor, will reduce the weight and size parameters of the refrigeration unit by 20 ... 60%.

Key words: refrigeration compressor, refrigeration cycle, condenser, mass and dimensional parameters of the refrigeration unit.

Busarov Sergey Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, bsi1980@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University,

Nedovenchany Alexey Vasilyevich, candidate of technical sciences, docent, lonewolf_rus88@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University,

Kapelyukhovskaya Alexandra Alexandrovna, senior lecturer, shipunovaa@mail.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University, SPIN-code: 2410-8153, AuthorID (RSCI): 684484,

Weimer Ivan Vyacheslavovich, student, Russia, Omsk, Omsk State Technical University,

Ryabov Ilya Alexandrovich, student, Russia, Omsk, Omsk State Technical University,

Gagloeva Angelika Efremovna, candidate of technical sciences, docent, Russia, Omsk, Omsk State Technical University, SPIN code: 1612-8089, AuthorID (RSCI): 719356

УДК 62-5

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-492-493

ЦИКЛОГРАММИРОВАНИЕ МАШИН-АВТОМАТОВ МЕТОДАМИ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Е.Н. Хозина, Л. Альвари, П.А. Королев, О.С. Журавлева

В статье рассмотрены особенности циклограммирования машин-автоматов на основе использования сетевого планирования на примере ткацкой машины с малогабаритными прокладчиками утка типа СТБУ. Предложена методика циклограммирования с использованием графов, и на ее основе построена сетевая цикловая диаграмма функциональной группы механизмов прокладывания утка ткацкой машины.

Ключевые слова: машина-автомат, циклограммирование, сетевое планирование, граф, функциональная группа, сетевая цикловая диаграмма.

В последние годы методы циклограммирования машин-автоматов развиваются в направлении использования методов, связанных с построением различных графов [1], представляющих собой некоторую математическую абстрактную модель реальной физической системы или технологического процесса, которая может быть охарактеризована как совокупность двух множеств: множества самих объектов (множество вершин) и множества их парных связей (множество ребер). Существует большое разнообразие типов графов, например, псевдографы, мультиграфы, смешанные графы и другие.

Для циклограммирования машин-автоматов чаще всего используют ориентированные графы и их подвиды, среди которых можно выделить моделирование по типу систем сетевого планирования и моделирования (СПМ) [1, 2, 3], а также сети Петри [4, 5], поскольку они позволяют отражать не только алгоритм работы цикловых механизмов, но и кинематические и технологические зависимости между их перемещениями.

Рассмотрим процесс циклограммирования машин-автоматов с помощью так называемого сетевого планирования. Сетевое планирование – метод, при котором используется графическое моделирование планируемого технологического процесса, отражающее логическую последовательность технологических операций, необходимых для его выполнения, существующую взаимосвязь между операциями и механизмами, их осуществляющими, а также планируемую продолжительность как отдельных операций, так и всего процесса в целом [6, 7].

Сегодня диапазон применения методов сетевого моделирования весьма широк, поскольку оно позволяет разрабатывать алгоритм выполнения технологических операций, уплотнять цикловые диаграммы (ЦД) на основе выявления временных резервов работы механизмов, прогнозировать усовершенствование технологического процесса и тем самым повышать производительность оборудования.

Результатом сетевого планирования в циклограммировании является получение сетевой ЦД, представляющей собой безмасштабную модель по типу систем СПМ [1] и отражающую не только рабочие, холостые перемещения и выстой механизма, но и взаимосвязи между ними. В отличие от простых линейных графиков и табличных расчетов сетевая ЦД позволяет разрабатывать и оптимизировать сложные технологические объекты, к которым относится большинство цикловых машин-автоматов.

Основными понятиями при разработке сетевой модели выступают работа, событие и зависимость (рис. 1) [8].

Под работой понимают некоторый технологический процесс, требующий затрат времени и ресурсов и ограниченный событиями, где под событием понимается фиксированный результат работы, не имеющий продолжительности, а под зависимостью – логическая взаимосвязь между работами (на рис. 1 изображена в виде стрелок).

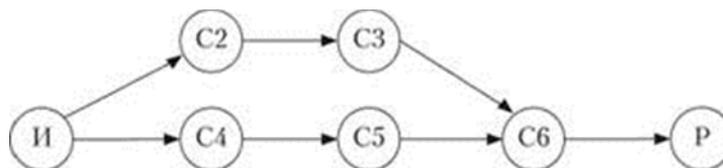


Рис. 1. Пример сетевой модели: И – исходные данные; С1...С6 – планируемые события; Р – результат

Следует отметить, что существует три типа зависимостей: 1. последовательные, когда одно действие не может начаться без завершения другого; 2. параллельно-взаимосвязанные, причем они бывают двух видов: когда несколько работ могут выполняться одновременно, чтобы обеспечить начало новой работы; когда одна работа порождает еще несколько параллельных работ; 3. параллельные, не взаимосвязанные.

Алгоритм построения ЦД на основе сетевой модели имеет следующий вид:

1. представление всей машины-автомата в виде совокупности нескольких функциональных групп механизмов, выделенных на основе общности выполняемой ими технологической операции;
2. анализ взаимодействия механизмов друг с другом внутри каждой функциональной группы и определение значимых точек этого взаимодействия;
3. установление оптимальной последовательности взаимодействия механизмов друг с другом с учетом возможности совмещения нескольких технологических операций;
4. расчет величин углов поворота распределительного вала машины-автомата, отводимых на работу каждого механизма;
5. построение ЦД на основе сетевой модели как визуального результата процесса циклограммирования;
6. оценка длительности всего технологического цикла работы машины-автомата, т.е. определение так называемого критического пути.

При циклограммировании машин-автоматов наибольшее применение нашла классическая сетевая модель, содержащая информацию об определенных параметрах технологических операций и их логической взаимосвязи, причем последние детерминированы и включают в себя технологические зависимости между работами только типа «не ранее». Классическая сетевая модель представляет собой конечный граф $G = (\Omega, A)$, где Ω — это множество вершин, отождествляемых с событиями, а A – матрица смежности, т.е. множество ориентированных дуг, отождествляемых с работами. Каждой дуге (i, j) поставлен в соответствие количественный параметр t , который определяет время выполнения работы (i, j) [8].

Рассмотрим моделирование сетевой ЦД на примере ткацкой машины (ТМ) с малогабаритными прокладчиками утка типа СТБУ. Несмотря на то, что представленный выше алгоритм предусмотрен для разработки и создания новых ЦД, его можно также использовать для анализа и оптимизации уже существующих ЦД, что и было сделано в данной работе.

Рассмотрим ТМ типа СТБУ в виде совокупности 7 функциональных групп (ФГ) механизмов, представленных в таблице.

Перечень функциональных групп [9]

Номер N функциональной группы	Наименование функциональной группы	Обозначение функциональной группы
1	Механизмы отпуска и натяжения основы и навивания ткани	ФГ1
2	Зевообразовательный механизм	ФГ2
3	Механизмы прокладывания уточной нити	ФГ3
4	Механизмы торможения и позиционирования прокладчиков утка	ФГ4
5	Механизмы освобождения прокладчика утка от уточины и возврата прокладчика к левой боевой коробке	ФГ5
6	Механизм прибора уточной нити	ФГ6
7	Кромкообразовательный механизм	ФГ7

Среди всех функциональных групп выделим группу механизмов прокладывания утка ФГ3 как группу, определяющую работу всей машины в целом. На рис. 2 представлена классическая графическая ЦД механизмов ТМ типа СТБУ, входящих в ФГ3, построенная на основе данных [10, 11]. Кроме того, на рис. 2 обозначен зевообразовательный механизм 8, не входящий в рассматриваемую группу, но непосредственно взаимосвязанный с ней. На рис. 2 также показаны характерные точки (1.1, 3.4, 6.2 и т.д.), которые иллюстрируют начало и конец различных техно-

гических операций, а также взаимосвязь между ними, что впоследствии поможет нам в построении ЦД сетевым методом. К характерным точкам относятся также те точки на ЦД, которые, не являясь началом или концом операции, оказывают серьезное влияние на организацию и проведение технологического процесса. Так, примером может служить точка 1.2 (100°), где происходит получение нити прокладчиком утка, или точка 2.4 (360°), которая характеризует встречу раскрывателя пружины прокладчика утка с самим прокладчиком. Характерные точки обозначены двумя цифрами, где первая соответствует порядковому номеру механизма на ЦД, а вторая показывает положение механизма в данный момент времени (при данном угле поворота распределительного вала машины (РВМ)).

Рассмотрим подробнее технологическое назначение механизмов, представленных на рис. 2, и их характерные точки.

Торсионный боевой механизм (рис. 2, поз. 1) предназначен для прокидки прокладчика с утком через зев на всю заправочную ширину ТМ, причем начальная скорость прокладчика утка определяется потенциальной энергией закрученного торсионного вала. Главной характерной точкой для этого механизма является точка боя 1.3, соответствующая 120° угла поворота РВМ. После проброса прокладчика в интервале 120° – 140° (точки 1.3 – 1.4) происходит раскручивание торсионного вала, а затем – новый этап закручивания торсиона, который оканчивается при 50° (точка 1.1).

Раскрыватель пружины прокладчика утка (рис. 2, поз. 2) предназначен для открывания пружин прокладчиков с целью размещения утка между разжатыми губками пружины прокладчика утка, фиксирования прокладчика утка в подъемнике и закрывания пружины прокладчика после передачи утка от возвратчика утка перед боем. Движение механизма вверх начинается при 350° (точка 2.3), затем при 360° происходит встреча с прокладчиком (точка 2.4), а в интервале 85° – 150° осуществляется движение вниз (точки 2.1 – 2.2). В оставшееся время механизм выставляется.

Возвратчик утка (рис. 2, поз. 3) необходим для отвода уточной нити, отрезанной у левой кромки ткани, в зону для передачи ее прокладчику утка. Основными движениями этого механизма являются его движение за уточной в период 230° – 310° (точки 3.2 – 3.3) и его перемещение с нитью к прокладчику, выполняемое в интервале 357° – 60° (точки 3.4 – 3.1).

Раскрыватель пружины возвратчика утка (рис. 2, поз. 4) служит для раскрывания пружины возвратчика перед боем после передачи уточной нити прокладчику и у левой кромки ткани после отрезания нити, т.е. осуществляет два раскрытия за один цикл работы. Особый интерес представляет первое раскрытие, необходимое для передачи уточины прокладчику и осуществляемое в период 85° – 120° (точки 4.2 – 4.3).

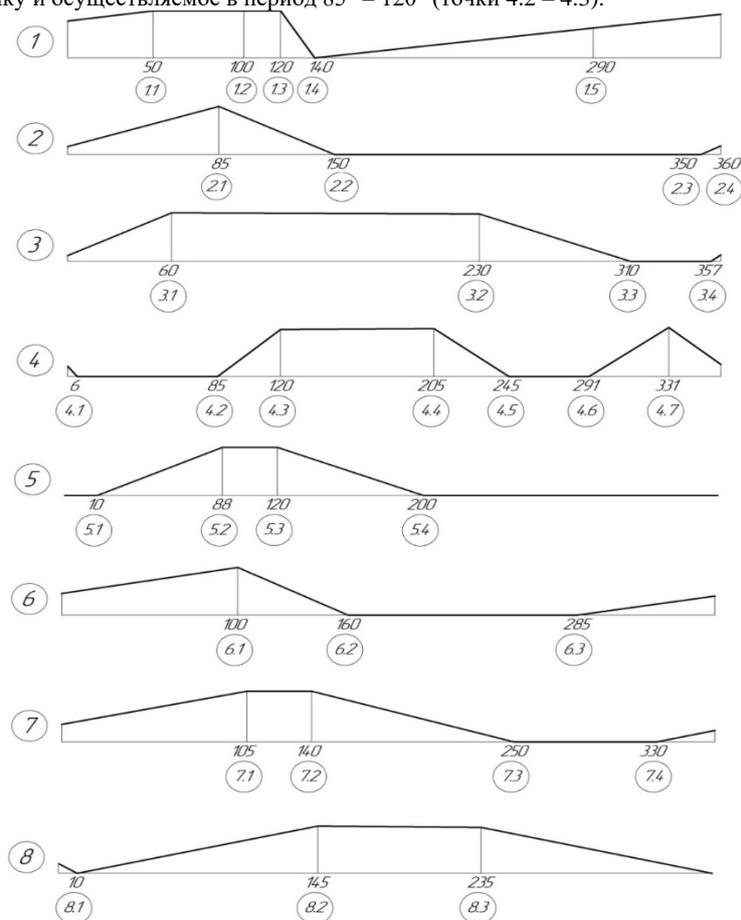


Рис. 2. Классическая графическая цикловая диаграмма механизмов, входящих в ФГЗ: 1 – торсионный боевой механизм; 2 – раскрыватель пружины прокладчика утка; 3 – возвратчик уточной нити; 4 – раскрыватель пружины возвратчика утка; 5 – подъемник прокладчиков утка; 6 – компенсатор утка; 7 – тормоз утка

Подъемник прокладчиков утка (рис. 2, поз. 5) представляет собой механизм, осуществляющий процесс подачи прокладчика утка с конвейера на линию боя. Подъем прокладчика приходится на период 10° – 88° (точки 5.1 и 5.2), а высотой его в верхнем положении до боя – на интервал 88° – 120° (точки 5.2 и 5.3).

Компенсатор утка (рис. 2, поз. 6) служит для изменения натяжения нити перед боем и после прилета прокладчика в правую приемную коробку. В первом случае требуется обеспечить наилучшие условия подачи уточины в зев, а во втором необходимо удалить из зева компенсационную петлю. Опускание компенсатора на ТМ типа СТБУ происходит при $100^\circ - 160^\circ$ (точки 6.1 и 6.2), а вытягивание излишка нити – при $285^\circ - 100^\circ$ (точки 6.3 и 6.1).

Тормоз утка (рис. 2, поз. 7) предназначен для обеспечения разных уровней торможения уточины в конце полета прокладчика утка и во время работы компенсатора, причем отпуск нити за счет нахождения лапки тормоза вверх происходит в интервале $105^\circ - 140^\circ$ (точки 7.1 и 7.2), а затем начинается основная работа тормоза утка, завершающаяся при 250° (точка 7.3).

На основе ЦД, приведенной на рис. 2, была разработана и построена сетевая ЦД механизмов, входящих в ФГЗ (рис. 3).

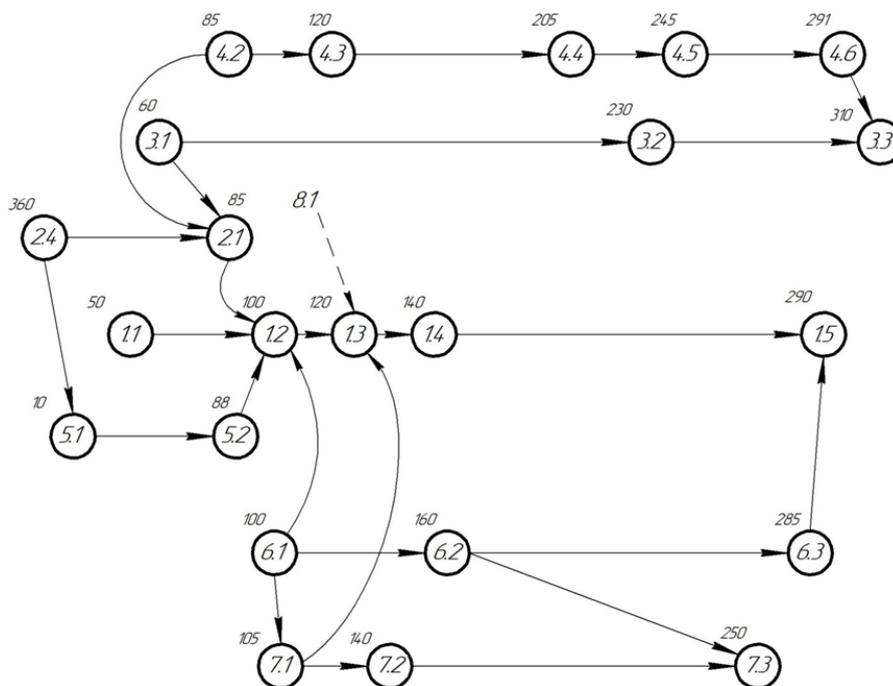


Рис. 3. Сетевая цикловая диаграмма механизмов, входящих в ФГЗ

При построении сетевого графика учитывались следующие рекомендации [6]:

1. длина стрелки не зависит от времени выполнения работы;
2. каждая операция должна быть представлена только одной стрелкой;
3. между одними и теми же событиями не должно быть параллельных работ;
4. следует избегать пересечения стрелок;
5. не должно быть стрелок, направленных справа налево;
6. номер начального события должен быть меньше номера конечного события;
7. не должно быть висячих событий (т.е. не имеющих предшествующих событий), кроме исходного;
8. не должно быть тупиковых событий (т.е. не имеющих последующих событий), кроме завершающего;
9. не должно быть циклов.

Исходными данными для построения сетевой ЦД служат величины фазовых и цикловых углов классической ЦД (рис. 2). Вершины сетевой ЦД (рис. 3) соответствуют событиям, т.е. началу / концу рабочего хода или выстоя и особым точкам ЦД. Дуги обозначают операции (работу) цикловых механизмов (рабочий, холостой ход, выстой) или взаимосвязь между движениями рабочих органов механизмов ФГ и отражают величины фазовых углов ЦД, соответствующих продолжительности этих процессов.

Рассмотренные в статье классическая и сетевая ЦД имеют свои преимущества и недостатки. Так, классическая ЦД позволяет наглядно видеть характер процесса (выстой, подъем или опускание механизма), что не отражается на сетевой ЦД. С другой стороны, сетевая ЦД ярко иллюстрирует взаимосвязь и последовательность работы механизмов, что трудно оценить по классической ЦД. Таким образом, выбор вида ЦД (классическая или сетевая) зависит от задачи, стоящей перед проектировщиками оборудования.

Представленная в работе методика циклограммирования может быть использована в различных отраслях промышленности при оптимизации существующих цикловых машин-автоматов, а также при синтезе новых образцов таких машин.

Список литературы

1. Афанасьев Ю.А., Подгорный Ю.И. и др. Исследование и проектирование цикловых диаграмм технологических машин: Монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. 200 с.
2. Разу М.Л. Управление проектом. Основы проектного управления: учебник / М.Л. Разу и др.; под ред. проф. М.Л. Разу. М.: Высшая школа, 2006. 768 с.
3. Голенко-Гинзбург Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками: Монография. / Д.И. Голенко-Гинзбург; под ред. В.Н. Буркова. Воронеж: Научная книга, 2010. 284 с.

4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. 264 с.
5. Симанков В.С., Толкачев Д.М. Моделирование сложных объектов в режиме реального времени на основе сетей Петри // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2012. № 4. С. 202-209.
6. Woodward J.F. Quantitative Methods in Construction Management and Design. - Macmillan Publishers Limited, 1975. 185 p.
7. Surayya Aulia, Hendra Cipta. Network Planning Analysis Using CPM and PERT Methods on Optimization of Time and Cost // Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika. Volume 8, Issue 1, January 2023. P. 171-177.
8. Плескунов М.А. Задачи сетевого планирования: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 92 с.
9. Альвари Л., Хозина Е.Н., Королев П.А., Журавлева О.С. Особенности циклограммирования машин-автоматов // Дизайн и технологии, № 94 (136), 2023. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина. С. 98-102.
10. Ковалева О.С. Исследование и усовершенствование механизмов, участвующих в прокладывании точной нити на ткацких машинах с малогабаритным прокладчиком утка, с целью повышения их производительности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М: МГТУ, 2006. 198 с.
11. Алленова А.П. Автоматические ткацкие станки СТБ. М.: Легпромбытиздат, 1985. 288 с.

Хозина Елена Николаевна, канд. техн. наук, доцент, khozina-en@rguk.ru, Россия, Москва, Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),

Альвари Лара, аспирант, laraalwaari@gmail.com, Россия, Москва, Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),

Королев Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент, korolev-pa@rguk.ru, Россия, Москва, Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),

Журавлева Ольга Сергеевна, канд. техн. наук, доцент, zhuravleva-os@rguk.ru, Россия, Москва, Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)

CYCLOGRAMMING OF AUTOMATIC MACHINES BY NETWORK PLANNING AND MANAGEMENT METHODS

E.N. Khozina, L. Alwaari, P.A. Korolev, O.S. Zhuravleva

The article discusses the features of the cycloprogramming of automatic machines based on the using of network planning on the example of a projectile weaving machine of STBU type. A method of cycloprogramming using graphs is proposed, and a network cyclic diagram of the functional group of mechanisms of the weaving machine weft insertion system is developed.

Key words: automatic machine, cycloprogramming, network planning, graph, functional group, network cyclic diagram.

Khozina Elena Nikolaevna, candidate of technical sciences, docent, khozina-en@rguk.ru, Russia, Moscow, The Kosygin State University of Russia (Technologies. Design. Art),

Alwaari Lara, postgraduate, laraalwaari@gmail.com, Russia, Moscow, The Kosygin State University of Russia (Technologies. Design. Art),

Korolev Pavel Alexandrovich, candidate of technical sciences, docent, korolev-pa@rguk.ru, Russia, Moscow, The Kosygin State University of Russia (Technologies. Design. Art),

Zhuravleva Olga Sergeevna, candidate of technical sciences, docent, zhuravleva-os@rguk.ru, Russia, Moscow, The Kosygin State University of Russia (Technologies. Design. Art)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАЙОНОВ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

С.И. Богомолов

В статье изложены предложения по повышению энергоэффективности объектов наземной космической инфраструктуры за счет использования тепловых насосов в общей теплосистеме обеспечения зданий и сооружений.

Ключевые слова: объекты наземной космической инфраструктуры, энергетическая система зданий и сооружений, тепловой насос.

Объекты наземной космической инфраструктуры (ОНКИ) располагаются по всей территории РФ в различных природно-климатических зонах от арктической до субтропиков. ОНКИ свойственна широкая номенклатура зданий и сооружений (ЗиС): стартовые сооружения, монтажно-испытательные корпуса, технические здания, склады, дизель-электрические станции, трансформаторные, антенные системы, административные здания и др. В настоящее время все ЗиС в районах Крайнего Севера обеспечиваются тепловой и электрической энергией исключительно тепловыми станциями и дизель-электрическими станциями, использующие углеводороды: каменный уголь, мазут, дизельное топливо и т.д. Это так называемые невозобновляемые источники энергии, требующие большого запаса топлива. Поэтому применение альтернативных источников тепла является актуальной задачей повышения энергоэффективности ОНКИ [1].

Предлагается в качестве возобновляемого источника тепла использовать тепловые насосы.

Тепловой насос (ТН) – это устройство, которое передает теплоту более низкого потенциала на более высокий уровень за счет затраты энергии еще более высокого потенциала. По сути, тепловой насос – это преобразованный холодильник. В обоих устройствах имеются одни и те же конструктивные элементы: испаритель, компрессор, конденсатор, дроссель, теплоноситель. Разнятся параметры настройки системы: холодильник выкачивает теплоту из холодильника (морозильной камеры) наружу через радиатор в помещения ЗиС, ТН нагнетает теплоту из внешней среды (воздух улицы, вода водоема, грунт) через испаритель в отапливаемое помещение ЗиС через конденсатор (радиатор).

Для определения эффективности работы ТН используют коэффициент преобразования энергии (КПЭ) (формула 1):

$$\text{КПЭ} = q_{\text{пол}}/L_{\text{ц}} = [T_{\text{max}}(S_{\text{max}} - S_{\text{min}})]/[T_{\text{max}} - T_{\text{min}}(S_{\text{max}} - S_{\text{min}})] = 1(1 - T_{\text{min}}/T_{\text{max}}), \quad (1)$$

где $q_{\text{пол}} = L_{\text{ц}} + q_{\text{н}}$ – полная теплота, вырабатываемая ТН (Вт); $L_{\text{ц}}$ – теплота, вырабатываемая ТН с помощью компрессора (Вт); $q_{\text{н}}$ – подводимая тепловая энергия из внешней среды (Вт); S_{max} – энтальпия системы при максимальной температуре сжатия рабочего тела T_{max} ; S_{min} – энтальпия системы при минимальной температуре сжатия рабочего тела T_{min} .

При адиабатическом сжатии хладагента в компрессоре его температура повышается от $T_{\text{min}}(K)$ до температуры T_{max} .

Известны примеры эффективного использования ТН для систем отопления различных ЗиС в Европе, особенно в северной ее части. В Стокгольме реализовано несколько тысяч ТН, использующих в качестве внешнего источника тепла балтийскую воду температурой $+4^{\circ}\text{C}$ [2, 3]. Разработаны различные ТН, использующие грунтовые условия, наружный воздух и теплоту водоемов. Используются и различные хладагенты: фреоны, рассолы, вода, пар и т.д.

В России АОЗТ «Тритон Лтд» выпускает ТН типов НТП. Разработана целая линейка ТН: от НТП-15-150 потребляемой мощности $3 \div 60$ кВт электрической энергии и производящие 15-150 кВт тепловой энергии до НТП-2200, потребляющие $500 \div 650$ кВт электроэнергии и производящие до 2200 кВт тепла. Размеры ТН изготавливаются в пределах от $1,8 \times 4,5 \times 1,7$ м до $4,5 \times 5,2 \times 3,3$ м. КПЭ в этих ТН колеблется в пределах $1,5 \div 9$ [2, 3].

КПЭ различных ТН в зависимости от температуры внешнего источника тепла изменяются в широких пределах (табл. 1).

Анализ условий размещения ЗиС ОНКИ в арктической зоне эксплуатации с учетом наружной температуры воздуха, состояния грунтовой среды, наличия водной среды, подходящих путей сообщения и др. условий показывает о целесообразности использования ТН в общей схеме теплоснабжения.

Таблица 1

КПЭ тепловых насосов

Температура внешнего источника тепла	-25°C	-18°C	-15°C	-5°C	5°C	+15°C	+25°C	+35°C
КПЭ	0,6	1	1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6

Наружный воздух в условиях арктической зоны имеет средние годовые температуры от -5°C до $+5^{\circ}\text{C}$, средние зимние температуры от -20°C до -30°C , лето продолжается 1-2 месяца. Грунт – вечномёрзлые грунты с температурой от -5°C до $+5^{\circ}\text{C}$. Водоемы имеются повсеместно: реки, озера, океан с температурой в зимний период около от 0°C до $+4^{\circ}\text{C}$ [4].

Вода является дешевым внешним источником тепла для ОНКИ, находящихся на побережьях океанов, рек и других водоемов, всегда может быть использована даже в зимний период, так как подо льдом температура воды никогда не опускается ниже $+4^{\circ}\text{C}$.

Грунт в арктической зоне даже в летний период имеет температуру в пределах от $+5^{\circ}\text{C}$ до $+10^{\circ}\text{C}$. Грунты составляют скальные и полускальные породы, имеют ледовые включения, что резко увеличивает капитальные затраты на устройство внешней сети трубопроводов для системы испарителя в тепловом контуре ТН.

Воздух Арктики является самой неэффективной внешней средой для ТН, так как имеет крайне низкий тепловой потенциал.

Анализ вышеприведенных условий эксплуатации ОНКИ показывает целесообразность применения ТН замкнутого типа, к примеру одноступенчатые, стационарные, циклические с приводом от дизель-электрических станций (ДЭС), работающие от внешнего источника – воды водоемов (река, озеро, океан) на хладагенте – типа фреон-14. Так при КПЭ 2,5-3,6 возможно снизить расход дизельного топлива на 60-70%, что приведет к снижению затрат на его использование, повысит надежность всей энергетической системы, понизит зависимость от привоза топлива к месту снабжения ЗиС ОНКИ. При затрате в электродвигателе привода компрессора ТН в 1 кВт получаем на выходе тепловой энергии до 3,5 кВт. Срок окупаемости ТН типа НТП составит 5-10 лет (5-10 межсезонных периодов).

Разработанная наиболее эффективная схема парокомпрессионного ТН на фреоне-14 (имеющего самую высокую производительность по внутренней энергии) представлена на рис. 1. На рис. 2 представлена зависимость «температура-энтропия» (Т-S) работы ТН.

ТН конструктивно состоит из четырех замкнутых систем.

1. Внутренняя система ТН, включающая испаритель 1, регенеративный теплообменник 2, компрессор 4, конденсатор 5, дроссель 6.

2. Наружная система подачи низкотемпературного тепла, включающая змеевик (сеть) системы наружного тепла 12, насос внешнего низкотемпературного источника тепла 11.

3. Наружная система горячего водоснабжения, включающая душ 10 (температура +55°C), ванна 9, отвод воды ГВС в канализацию 14, подача воды из сети водоснабжения 13.

4. Система внутреннего отопления внутреннего объема ЗиС, включающая- отопительный прибор 8 (температура +65°C), расширительный бак 7, радиатор конденсатора 5, насос системы отопления 15.

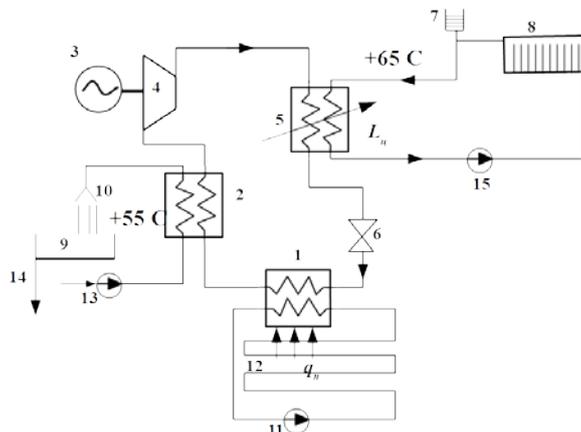


Рис. 1. Схема одноступенчатого парокомпрессионного ТН: 1 – испаритель; 2 - регенеративный теплообменник; 3 - электродвигатель компрессора; 4 - компрессор; 5 - конденсатор (радиатор); 6 – дроссель; 7 - бак расширителя воды; 8 - отопительный прибор (батарея); 9 – ванна; 10 – душ; 11 - насос системы наружного источника тепла; 12 - змеевик системы наружного тепла; 13 - насос системы ГВС; 14 - слив отработанного теплоносителя в канализацию, насос системы отопления помещения; 15- насос системы отопления

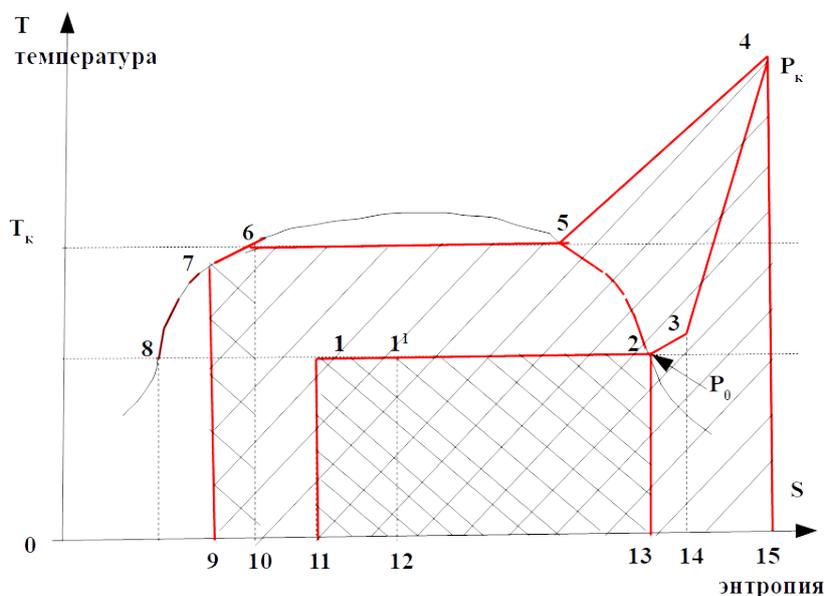


Рис. 2. График работы ТН в координатах температура (Т)-энтропия (S)

Обозначения процессов в ТН (по отрезкам) по рис. 2:

- 1-2 -подвод теплоты в испарителе 1,
- 2-3-перегрев пара в теплообменнике 2,
- 3-4-сжатие теплоносителя в компрессоре 4,
- 4-5-отвод теплоты в конденсаторе 5,
- 6-7-охлаждение конденсатора 5,
- 7-1-дресселирование хладагента в 6.

Площадь фигуры $S_1=1-2-13-11-1$ равна количеству тепла, подведенного к испарителю (q_n), площадь фигуры $S_2=4-5-6-10-15-4$ равна количеству тепла, отведенного в конденсаторе.

Дополнительная энергия, затраченная в компрессоре равна площади фигуры $S_3=2-3-4-5-6-7-8-2$ минус площадь фигуры $S_4=2-3-14-13-2$.

Работа ТН производится следующим образом. Жидкий рабочий агрегат (хладагент) поступает в испаритель 1, где происходит его испарение за счет подвода низкотемпературной теплоты внешней среды q_n . Образующийся насыщенный пар поступает в регенеративный теплообменник 2, где перегревается за счет охлаждения конденсата, идущего из конденсатора 5. Затем пар сжимается компрессором 4 до давления P_k , которому соответствует более высокая температура насыщения T_k и поступает в конденсатор 5, где конденсируется и отдает теплоту Q_k потребителю (воде системы отопления ЗиС). После охлаждения в теплообменнике 5 производится снижение давления хладагента от P_k до P_0 в дросселе 6 с понижением температуры до T_0 , т.е. до исходных параметров. Цикл повторяется.

Моделирование отопления жилого дома (общей площади 200 м², объем 650 м³) в течение года в сельской местности для северной части Свердловской области с возобновляемыми источниками электрической и тепловой энергии в дополнение к традиционным источникам показало, что расход топлива для ДЭС и тепловой станций (ТЭС) может быть снижен более чем в 1,8 раза. Годовая выработка тепловой энергии увеличивается с 50516 кВт ч/год до 51196 кВт ч/год, расход топлива для ДЭС и ТЭС снижается 6795 кг до 3165 кг [4].

Предложенная схема теплоснабжения ЗиС с использованием ТН позволяет экономить топливо дизель-электрических станций и котельных на 30-40%, что в свою очередь уменьшает зависимость от его подвоза и повышает общую надежность системы.

Список литературы

1. Андриевская А.Н. Альтернативные источники энергии. - СПб // «Зеленая» энергетика [Электронный ресурс] URL: <http://trends.rbc.ru>trends>green> (дата обращения: 02.12.2022).
2. Лунова С.К., Чистович А.С., Эмиров И.Х. К вопросу применения тепловых насосов // Журнал «Технико-технологические проблемы сервиса», 2013. 240 с.
3. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения теплоты в системах теплоснабжения: использование с применением тепловых насосов // Г.К. Ким, В.Н. Цой, М.Г. Климов. Нижн. Новгород: ННГАСУ, 2013. 50 с.
4. Велькин В.И., Власов В.В., Щеклин С.Е. Энергоэффективный дом с комплексным использованием возобновляемых источников энергии в суровых климатических условиях // Международный научный журнал: «Альтернативная энергетика и экология» - НТО «ТАТА», 2015. С. 43-49.

Богомолов Сергей Иванович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, vka@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF GROUND FACILITIES USING HEAT PUMPS

S.I. Bogomolov

The article outline proposals for increasing the energy efficiency of ground infrastructure facilities through the use of heat pumps in the overall thermal system for providing buildings and structures/

Key words: ground infrastructure facilities, energy system, building and structures, heat pump.

Bogomolov Sergey Ivanovich, candidate of technical sciences, senior researcher, vka@mil.ru, Russia, Saint-Petersburg, Military Aero Space Academy

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЫСТРОТЫ ДЕЙСТВИЯ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

М.А.С. Махмуд, Ю.В. Родионов

Жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН) широко используются в различных отраслях промышленности благодаря способности перекачивать влажные и агрессивные газы. Целью статьи является разработка математической модели расчета скорости действия ЖВН с учетом потерь, имеющих место при их работе. Полученные результаты проверены путем сравнения с проведенными опубликованными работами. Результаты показали, что разработанная модель применима для расчета скорости действия этих вакуумных насосов. Максимальная и средняя относительная погрешность составила 6,7% и 4,3% соответственно по сравнению с проведенными работами. Всесторонний анализ тепловых воздействий является важным вопросом для будущих исследований.

Ключевые слова: математическая модель, скорость действия, Жидкостнокольцевой вакуумный насос.

Жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН) широко используются в различных отраслях промышленности для создания условий вакуума путем удаления газов из замкнутой системы. ЖВН обеспечивают несколько функций, таких как сжатие, создание вакуума и перекачка рабочих тел [1,2]. Эти насосы применяются для нескольких технологических процессов, таких как сушка, выпаривание и экстракция, в химических и сельскохозяйственных промышленных комплексах [1-3]. Ключевыми преимуществами этих машин являются высокая надежность, долговечность, изотермическое сжатие, экологичность, простота конструкции, низкая стоимость, и соответствие экологическим нормам [1-4]. Эти машины доступны в двух категориях: одноступенчатые и двухступенчатые, как показано на рис.1.



Рис. 1. Жидкостнокольцевой вакуумный насос: а – одноступенчатый; б – двухступенчатый

Одноступенчатый широко используется для большинства технологических процессов [5]. В связи с работой на кафедре «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ТГТУ», в данной статье описан аналитический метод расчета скорости действия (БД) классического ЖВН. Предложенный подход позволяет изучить скорость действия при различных условиях эксплуатации.

Цель статьи. Совершенствование метода расчета скорости действия классического жидкостнокольцевого вакуумного насоса на основе конструктивных особенностей и науки термодинамики.

Материалы и методы. Для исследования БД и давления разрежения в ЖВН для различных технологических процессов рассмотрены основные литературные источники по теме научной статьи [4-9]. Для получения результатов использовалось программное обеспечение «Решатель Инженерных Уравнений», (Engineering Equation Solver (EES)). В качестве объекта исследования использовался типоразмер ЖВН. Конструкция рабочей полости ЖВН представлена на рис.1. Определены геометрические характеристики исследуемого вакуумного насоса, такие как размеры рабочего колеса и связанные с ним параметры, а также основные свойства жидкости и газа, поступающих в насос.

Основные геометрические размеры исследуемого ЖВН-2ВЕ1103 следующие [6]: $n = 1170 \text{ рад} \cdot \text{мин}^{-1}$; $r_1 = 0,0535 \text{ м}$; $e = 0,0136 \text{ м}$; $\beta = 40^\circ$; $r_2 = 0,105 \text{ м}$; $b = 0,215 \text{ м}$; $z = 12$; $R = 0,1365 \text{ м}$; $\delta = 0,008 \text{ м}$.



Рис. 1. Традиционная конструкция ЖВН

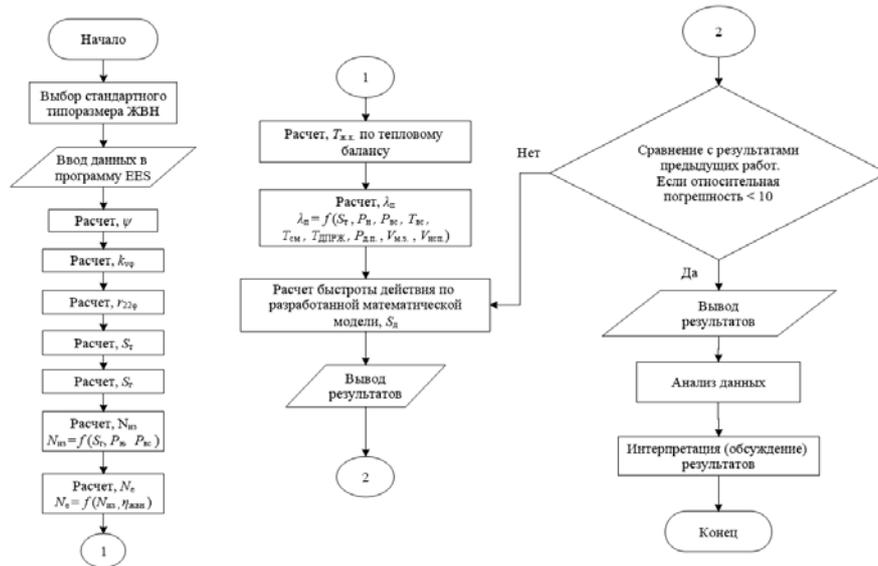


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета БД классического ЖВН

Результаты и их обсуждение. Действительная БД является основным показателем для текущего насоса, и рассчитывается следующим образом [7]:

$$S_d = S_T \cdot \lambda_n \quad (1)$$

где S_T – теоретическая БД, м³/с; λ_n – коэффициент подачи.

$$S_T = \pi \cdot (r_{22\phi}^2 - r_1^2) \cdot b \cdot \psi \cdot n \quad (2)$$

Коэффициент (ψ) учитывает уменьшение объема газа за счет размеров лопаток [7]:

$$\psi = \frac{\pi \cdot (r_2^2 - r_1^2) - s \cdot l \cdot z}{\pi \cdot (r_2^2 - r_1^2)} \quad (3)$$

Для расчета радиуса (r_{22}) используется следующее уравнение [7]:

$$r_{22\phi} = \left[r_2 \cdot \sqrt{\frac{r_1^2 + d}{r_2^2} - \frac{2 \cdot k_{v\phi} \cdot \delta \cdot \xi}{\psi} - \frac{2 \cdot k_{v\phi} \cdot (2 \cdot e + \Delta) \cdot \zeta}{r_2 \cdot \psi}} \right] \quad (4)$$

В зависимости от угла поворота рабочего колеса [7]:

$$r_{22\phi} = \left[r_2 \cdot \sqrt{\frac{r_1^2 + d}{r_2^2} - \frac{2 \cdot k_{v\phi} \cdot \delta \cdot \xi}{\psi} - \frac{2 \cdot k_{v\phi} \cdot (2 \cdot e + \Delta) \cdot \zeta}{r_2 \cdot \psi}} \right] - e \cdot (1 + \cos(\phi)) \quad (5)$$

где r_2 – радиус рабочего колеса, м; r_1 – радиус втулки рабочего колеса, м; ψ – коэффициент, учитывающий влияние толщины лопаток; ϕ – угол поворота рабочего колеса, рад ($\phi=180^\circ$); $\delta = \Delta/r_2$ – относительный зазор; Δ – наименьший зазор между рабочим колесом и корпусом, м; $\xi = b/b_0$ – коэффициент; b – ширина корпуса вакуумного насоса, м; b_0 – ширина рабочего колеса, м; e – эксцентриситет рабочего колеса, м, $k_{v\phi} = v_{II\text{ ср}}/u_2$ – коэффициент учитывает изменение поля скорости. Этот коэффициент зависит от режима работы насоса и рассчитывается по методике, приведенной в работе [7].

Коэффициент подачи (λ_n) рассчитывается по уравнению:

$$\lambda_n = \lambda_{д.н.в.} - \lambda_\Gamma^3 - \lambda_\Gamma^n - \lambda_{м.з.} \quad (6)$$

Коэффициент ($\lambda_{д.н.в.}$) характеризует потери БД из-за увеличения давления пара ($P_{д.п.}^T$) [8]:

$$\lambda_{д.н.в.} = \frac{(P_{вс} \cdot 10) \cdot (0,27 \cdot \ln(P_{вс} \cdot 10) - 0,0783) - 1,05 \cdot (P_{д.п.}^T \cdot 10)}{(P_{вс} \cdot 10) \cdot (0,27 \cdot \ln(P_{вс} \cdot 10) - 0,0783) - 1,05 \cdot 17,04} \quad (7)$$

где $P_{вс}$ – давление всасывания, кПа; $T_{длрж}$ – температура дополнительной рабочей жидкости на входе в жидкостное кольцо, К.

Коэффициент (λ_Γ^3) характеризует потерь БД в зазорах [9]:

$$\lambda_\Gamma^3 = \frac{m_\Gamma^3 \cdot \kappa_y}{S_T \cdot \left(\frac{P_n}{R_\Gamma \cdot (T_{ж.к.} + 273,15)} \right)} \quad (8)$$

где m_{Γ}^3 – расход газа в зазорах, кг/с; κ_y – Коэффициент уплотнения; $T_{\text{н}}$, $T_{\text{ж.к.}}$ – температура на выходе и температура жидкостного кольца соответственно, К; $P_{\text{н}}$ – давление нагнетания, кПа.

Рабочая жидкость имеет тенденцию к испарению внутри рабочей полости ЖВН вследствие тепловых воздействий при их использовании в высокотемпературных процессах. Эти потери в БД определяются следующим коэффициентом [9]:

$$\lambda_{\Gamma}^{\text{н}} = \frac{S_{\Gamma} \cdot \left(\frac{P_{\text{н.п.}}}{R_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 0,5 \cdot (T_{\text{ж.к.}} + T_{\text{вс}})} \right)}{S_{\Gamma} \cdot \left(\frac{P_{\text{н}}}{R_{\Gamma} \cdot (T_{\text{ж.к.}} + 273,15)} \right)}, \quad (9)$$

где $P_{\text{н.п.}}$ – давление насыщенного пара, кПа; $T_{\text{вс}}$ – температура всасываемого газа, К.

Коэффициент ($\lambda_{\Gamma}^{\text{н}}$) может быть определен по следующему уравнению [7]:

$$\lambda_{\Gamma}^{\text{н}} = \frac{V_{\text{исп.}} \cdot z}{\pi \cdot (r_{22\phi}^2 - r_1^2) \cdot b \cdot \psi}, \quad (10)$$

где $V_{\text{исп.}}$ – объем испарившейся жидкости, м³.

Потери газовой фазы в мертвой зоне рассчитывают по коэффициенту ($\lambda_{\text{м.з.}}$) следующим образом [7]:

$$\lambda_{\text{м.з.}} = \frac{V_{\text{м.з.}} \cdot z}{\pi \cdot (r_{22\phi}^2 - r_1^2) \cdot b \cdot \psi}, \quad (11)$$

где $V_{\text{м.з.}}$ – объем «мертвой зоны».

Согласно представлениям классической термодинамики, уравнение теплового баланса в ЖВН выглядит следующим образом [9]:

$$E = E_1 + E_2 + Q, \quad (12)$$

где E – энергия, подводимая к ЖВН, кВт; E_1 – энергия, отводимая от ЖВН рабочим телом (рабочей жидкостью), кВт; E_2 – энергия, отводимая из ЖВН газом, кВт; Q – количество теплоты, отводимое из ЖВН в результате теплообмена между поверхностью ЖВН и окружающей средой, кВт.

Для традиционной конструкции ЖВН, экспериментальные данные показали [9], что значение $E_2 + Q$ равно 10% от эффективной мощности (N_e) на валу ЖВН в процессе сжатия. С достаточной точностью E можно принять равным N_e , поэтому уравнение имеет вид:

$$N_e = E_1 + 10\% N_e, \quad (13)$$

$$E_1 = m_{\text{дпрж}} c_{\text{дпрж}} (T_{\text{ж.к.}} - T_{\text{дпрж}}) \quad (14)$$

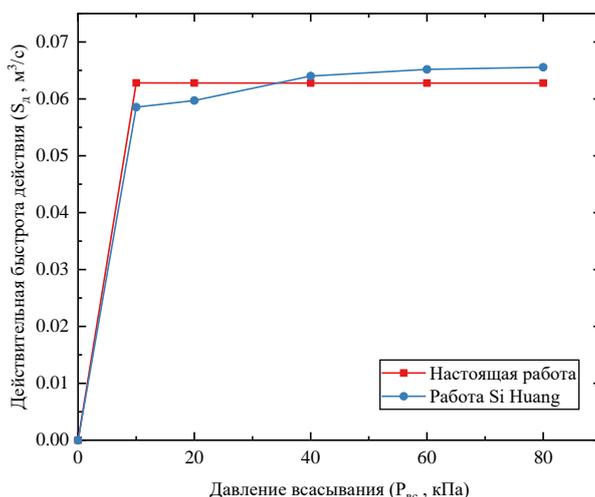


Рис. 3. Изменение БД в зависимости от давления всасывания

Таким образом, из уравнений (12-14) определяем среднюю температуру жидкостного кольца:

$$T_{\text{ж.к.}} = \frac{0,9N_e + m_{\text{дпрж}} c_{\text{дпрж}} T_{\text{дпрж}}}{m_{\text{дпрж}} c_{\text{дпрж}}}, \quad (15)$$

где $m_{\text{дпрж}}$ – массовый расход жидкости через жидкостное кольцо, кг/с; $c_{\text{дпрж}}$ – средняя удельная теплоемкость рабочей жидкости, Дж/(кг.К).

Уравнение (15) используется для аналитического определения температуры жидкостного кольца ($T_{\text{ж.к.}}$) в ЖВН с учетом физических свойств рабочей жидкости.

В этом случае эффективная мощность может быть рассчитана следующим образом:

$$N_e^{из} = \frac{N_{из}}{\eta_{жвн}}; \quad (16)$$

$$N_{из} = P_{вс} \cdot S_r \cdot \ln \left(\frac{P_n}{P_{вс}} \right), \quad (17)$$

S_r – геометрическая БД, м³/с.

$$S_r = \pi \cdot r_2^2 \cdot b \cdot \psi \cdot (1 - v^2) \cdot n, \quad (18)$$

где $v = r_1/r_2$.

На рис.3 показано изменение БД в зависимости от давления всасывания. Этот параметр увеличивается с увеличением создаваемого вакуума. Результаты, зафиксированные в ходе экспериментальных исследований в работе [6], демонстрируют достоверность результатов, полученных предлагаемым методом. Максимальная относительная погрешность составила 6,7 % по сравнению с приведенными результатами в работе [6].

Заключение. В статье представлена методика расчета БД традиционной конструкции ЖВН. Результаты подтверждены предыдущими исследованиями. Рассчитанная средняя относительная ошибка составила 4,3 %. На основании полученных данных предложенный метод применим для определения производительности существующей машины. Перспективной дальнейших исследований является экспериментальное изучение влияния температур рабочих тел (тепла) в условиях реальной эксплуатации и использование ЭВМ для получения обоснованных результатов.

Список литературы

1. A comprehensive review of liquid ring vacuum pumps and compressors for improving global efficiency and energy saving / Mohammed Ali Sami Mahmood, Rodionov Yuriy Viktorovich, Nikitin Dmitriy Vyacheslavovich, Voronin Nikolai Vladimirovich, and Dmitriy Nikolayevich Protasov // AIUB Journal of Science and Engineering. – 2022. – Vol. 21, № 1. – P. 26 - 36.
2. Rodionov, Yu.V. Liquid ring vane vacuum pumps. Trends in development of vacuum technology (in English) / Yu.V. Rodionov // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т. 12. – № 3-2. – С. 779-784.
3. Rodionov Y.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps / Y.V. Rodionov, Y.T. Selivanov, D.V. Nikitin, M.V. Sychev, P.V. Kombarova // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Т. 55. – № 5-6. – С. 473-479.
4. Никитин Д. В. Расчёт комбинированной конструкции жидкостнокольцевого вакуумного насоса / Д. В. Никитин, П. А. Галкин, Ю. В. Родионов, М. С. Абрамов, Н. В. Майстренко, О. А. Гливленкова // Наука в центральной россии science in the central Russia. 2023. Т. 65. № 5. С. 64-77. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-64-77>.
5. Родионов Ю.В. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы комбинированного типа для энергоэффективных технологических процессов переработки растительного сырья / Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, Г.В. Рыбин, А.В. Щегольков, И.А. Елизаров, М.С. Блохин // Наука в центральной России Science in the central Russia. – 2023. – Т. 66. – № 6. – С. 7-16. – <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-7-16>.
6. Theoretical model for the performance of liquid ring pump based on the actual operating cycle / Si Huang, Jing He, Xueqian Wang, [et al.] // International Journal of Rotating Machinery. – 2017. – Vol. 2017. – P. 9.
7. Родионов, Ю. В. Совершенствование теоретических методов расчета и обоснование параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосов с учетом особенностей технологических процессов в АПК : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Родионов Юрий Викторович. – Тамбов, 2012. – 434 с.
8. Osipov, É.V. Influence of heat and mass exchange in a liquid ring vacuum pump on its working characteristics / É.V. Osipov, É.Sh. Telyakov, R.M. Latypov, D. Bugembe // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2019. – Vol. 92. – № 4. – P. 1055-1063.
9. Фролов Е.С. Вакуумная техника / Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова. М.: Машиностроение, 1985. 359 с.

Махмуд Мохаммед Али Сами, аспирант, mohammed.sami@atu.edu.iq, Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет, Ирак, Бабиль, Технический университет Аль-Фурат Аль-Авсат,

Родионов Юрий Викторович, д-р техн. наук, профессор, rodionow.u.w@rambler.ru, Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

ANALYTICAL MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE ACTION SPEED OF LIQUID RING VACUUM PUMPS

Mahmood Mohammed Ali Sami, Yu.V. Rodionov

Liquid ring vacuum pumps (LRVP) are widely used in various industries due to their ability to pump wet and corrosive gases. The article aims to develop a mathematical model for calculating speed of action of LRVP taking into account the losses, taking place during their operation. The suggested method was relied on the design features of working cavity of vacuum pump and the classical thermodynamic. The obtained results were verified by comparative with the conducted published works. The results showed the that the developed model applicable for calculation the speed of action of these vacuum pumps. The maximum and average relative error were 6.7% and 4.3%, respectively, comparing with conducted works. Comprehensive analysis of thermal influences is an important issue for future research.

Key words: mathematical model, speed of action, liquid ring vacuum pump.

Mahmood Mohammed Ali Sami, postgraduate, mohammed.sami@atu.edu.iq, Russia, Tambov, Tambov State Technical University, assistant lecturer, Babil, Iraq, Al-Furat Al-Awsat Technical University,

Rodionov Yuriy Viktorovich, doctor of technical sciences, professor, rodionow.u.w@rambler.ru, Russia, Tambov, Tambov State Technical University

УДК 621.891

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-504-505

МЕТОД РАСЧЁТА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПЯТНА КОНТАКТА ПРИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ

И.В. Карнаухов, А.С. Лунев, Е.А. Сорокин, А.А. Никитин, И.В. Андрейчиков

Излагается методика расчета температурного режима фрикционного контакта при трении образцов в условиях гидростатического давления. Показано, что температурный режим в значительной мере определяется средней температурой поверхности трения, на которую влияет величина гидростатического давления.

Ключевые слова: температурный режим, гидростатическое давление, трибосистема, трение, рабочая жидкость.

При трибометрических испытаниях рабочих жидкостей в условиях гидростатического давления возникает необходимость в предварительном расчете температурного режима фрикционного контакта образцов. Обычно в таких испытаниях, например, при определении смазочной способности гидравлического масла, применяют схемы трения образцов, образующих высшие кинематические пары. Для большинства этих схем предложены методики расчета температур образцов. Однако в имеющихся методиках не затрагивается схема трения «шар-цилиндр» и не учитывается избыточное давление окружающей образцы жидкости. Между тем указанная схема трения благодаря ряду ее преимуществ (небольшая продолжительность испытаний, незначительное тепловыделение и др.) широко применяется при определении показателей смазочной способности специальных жидкостей, в том числе и рабочих, а избыточное давление жидкости является одним из важнейших рабочих параметров трибосистемы [1].

Максимальная температура на фрикционном контакте образцов v_{\max} схемы трения «шар-цилиндр» суммируется из начальной температуры v_0 , средней объемной температуры, избыточной над v_0 , элемента пары трения $v_{об}$, средней температуры поверхности трения v^* и температуры вспышки $v_{всп}$, т.е.

$$v_{\max} = v_0 + v_{об} + v^* + v_{всп} \quad (1)$$

Начальная температура равна температуре жидкости в испытательной камере экспериментальной установки. Испытания, например, рабочих жидкостей гидроприводов проводят при температурах 60-70°C, т.е. $v_0 = 60 - 70^\circ\text{C}$.

Такой температурный режим наиболее характерен для гидроприводов современных мобильных машин, хотя он и на 10-20°C выше оптимального верхнего предела [2].

Среднюю объемную температуру образца (шара или цилиндра) можно определить по формуле (1), но с учетом зависимости коэффициентов теплоотдачи образцов α_i от давления жидкости.

$$v_{об} = \frac{\alpha_{ТПi} W_T}{G_i C_i} \left[\frac{\exp(-kt_0)}{1 - \exp(-kt_0)} \right], \quad (2)$$

где W_T - работа силы трения; $\alpha_{ТПi}$ - коэффициент распределения тепловых потоков; G_i, C_i - масса и теплоемкость элемента пары трения, t_0 - продолжительность одного оборота;

$$K = \frac{\alpha_i \cdot A_{\alpha_i}}{G_i C_i}, \quad (3)$$

где A_{α_i} - площадь поверхности теплоотдачи.

Коэффициенты теплоотдачи являются функциями физических и теплофизических свойств жидкости. В общем случае [3]:

$$\alpha_i = f(\dots, \lambda, C_p, \rho, \mu, a, \dots), \quad (4)$$

где $\lambda, C_p, \rho, \mu, a$ - соответственно теплопроводность, теплоемкость изобарная, плотность, динамическая вязкость и коэффициент температуропроводности испытуемой жидкости.

Физические и теплофизические характеристики жидкости, приведенные в формуле (4), зависят от величины избыточного давления. Так, при изменении давления от атмосферного до 30 МПа характеристики современных рабочих жидкостей изменяются: ρ - на 1,9-3,1%; ν - на 50-100%; λ - 5,6-8,3%; C_p - 1,8-3,2%, a - 5,7-8,8% (ν - кинематическая вязкость).

С небольшой погрешностью, можно принять, что в указанных условиях трения $\nu_{об}$ не влияет на температуру поверхности трения образца. Это позволяет рассчитывать температурный режим фрикционного контакта при постоянных значениях теплофизических характеристик материала образцов [4].

В настоящее время нет точного решения задачи теплопередачи для схемы «шар - цилиндр». М.В. Коровчинским предложена формула для расчета температуры поверхности трения при контакте по Герцу, однако она не учитывает теплоотдачу от поверхностей образцов в окружающую среду.

На наш взгляд, более приемлемой для расчета образцов шара и цилиндра является формула, по которой определяют среднюю температуру поверхности трения образцов схемы «палец-диск»:

$$\nu^* = \frac{4C_1^{0,5} B_2 P_a V f}{3\lambda_1 B_2 + 4\lambda_2 (m_2 C_1)^{0,5}}, \quad (5)$$

где $C_1 = d_2 a_2 (\pi V)$, $m_2 = \frac{a_2 S_2}{\lambda_2 A a_2}$, P_a - номинальное контактное давление, V - скорость скольжения, f - коэффициент трения, λ_1, λ_2, a - соответственно коэффициенты теплопроводности и температуропроводности материала образцов (1 - диск, 2 - палец); a_2 - коэффициент теплоотдачи образца (пальца) в окружающую среду, $d_2 S_2$ - диаметр и периметр теплоотдающей поверхности образца, $A a_2$ - номинальная площадь контакта; $B_2 \approx 1$ - при отсутствии теплоизоляции образца [5].

Формулу (5) можно использовать для расчета ν^* образцов схемы «шар-цилиндр» при соблюдении следующих условий:

- сохранение постоянными контактных давлений, т.е. $P_a = const$ (обеспечивается конструкцией испытательной установки);
- диаметр шара заменяется условным диаметром модели, исходя из условия сохранения равенства теплоотдачи при обтекании жидкостью пальца (цилиндра) и шара - равенство чисел Нуссельта ($N_u^{III} = N_u^{II}$).

По формуле построим график зависимости Изменения средней температуры поверхности в зависимости от теплоемкости элемента пар трения.

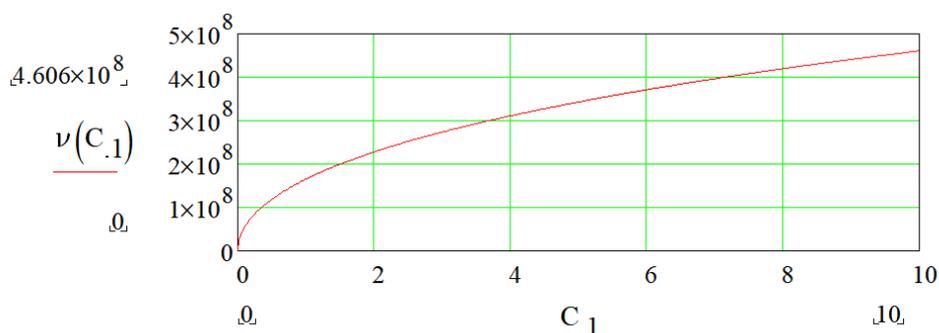


Рис. 1. Изменение средней температуры поверхности в зависимости от теплоемкости элемента пар трения

Кроме того, схему трения «палец-диск», применяемую для оценки триботехнических свойств в смазочных материалах, сближает со схемой «шар-диск» то, что размеры ее образцов подбирают исходя из условия $K_{B3} \rightarrow 0$ (K_{B3} - коэффициент взаимного перекрытия).

В проведенных нами испытаниях рабочей жидкости ВМГЗ (ТУ 38 011479-85) рабочие параметры, коэффициент трения и теплофизические характеристики имели следующие значения: $P_a = 675 \text{ МПа}$; $V = 0,68 \text{ м/с}$; $f = 0,08$; $\lambda_1 = \lambda_2 = 40,9 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$; $a = 0,95 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ (сталь ШХ15).

Коэффициент $\lambda_2 = \lambda_{ш}$ (коэффициент теплоотдачи шара) был рассчитан с учетом избыточного давления жидкости. При изменении давления рабочей жидкости ВМГЗ от 0 до 30 МПа, средняя температура (расчетная) поверхности трения шара увеличилась от 73,7 $^\circ\text{C}$ до 82,2 $^\circ\text{C}$.

Температуру выпышки ($\nu_{всп}$) для одноименной (равнопрочной) пары трения можно определить по формуле [6]:

$$\nu_{всп} = \frac{2}{3\lambda} f P_r V^{0,5} \left(\frac{d_r a}{\pi} \right)^{0,5}, \quad (6)$$

где P_r - среднее фактическое давление на контакте, d_r - средний диаметр фактического пятна контакта (зависит от параметров микрогеометрии поверхности трения, максимальной высоты микровыступов, твердости материала образца и нагрузки на образцы); a - коэффициент температуропроводности, V - скорость скольжения.

По формуле построим график изменения температуры вспышки в зависимости от среднего фактического давления на контакте.

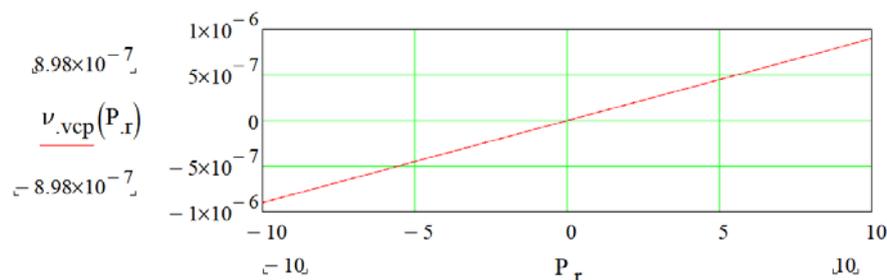


Рис.2. Изменение температуры вспышки в зависимости от среднего фактического давления на контакте

При твердости стали ШХ15 ПРС 64 и $f = 0,08$ температура вспышки ($v_{всп}$), в проведенных нами экспериментах, составляла: $7,8^\circ\text{C}$ при диаметре пятна номинального контакта $0,20$ мкм и $4,2^\circ\text{C}$ при $0,40$ мкм.

Таким образом, расчеты показали, что температурный режим фрикционного контакта образцов, образующих высшую кинематическую пару узла трения испытательной установки, в значительной мере определяется средней температурой поверхности трения V , зависящей от величины гидростатического давления испытуемой рабочей жидкости.

Список литературы

1. Тарасик В.П. Моделирование процесса нагрева многодисковых фрикционов гидромеханической передачи / В. П. Тарасик, Ю. С. Романович, В. С. Савицкий // Вестник Белорусско-Российского университета. 2012. № 1(34). С. 107-117. DOI 10.53078/20778481_2012_1_107. EDN OZAATL.
2. Кузеев И. Р. Моделирование гидродинамики крупнотоннажных аппаратов работающих в условиях высоких температурах / И. Р. Кузеев, В. Д. Денисов, Ю. М. Абызгильдин // Технология, ресурс и прочность оборудования нефтеперерабатывающих заводов: Межвузовский научно-тематический сборник / Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 1992. С. 116-125. EDN UIFSNF.
3. Антонюк В.Е. Особенности конструкции и эксплуатации фрикционных дисков // Механика машин, механизмов и материалов. 2022. № 2(59). С. 39-46. DOI: 10.46864/1995-0470-2022-2-59-39-46. EDN VONCPO.
4. Повышение долговесности фрикционов автоматических коробок передач / Д. И. Попоречкий, А. А. Кирсанкин, Е. О. Решиков, А. С. Анохин // XXXV Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2023): Сборник трудов конференции, Москва, 13–14 ноября 2023 года. Москва: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2023. С. 479-483. EDN TZQBHV.
5. Тарасик В.П. Математическая модель теплопередачи в дисковых фрикционах трансмиссий мобильных машин // Вестник Белорусско-Российского университета. 2015. № 3(48). С. 68-78. DOI: 10.53078/20778481_2015_3_68. EDN UIBFXH.
6. Глобчак М.В. Исследование температурных режимов фрикционов ГМП автопогрузчиков методами математического моделирования: специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Глобчак Михаил Васильевич. Харьков, 1994. 25 с. EDN: ZKOYOH.

Карнаухов Илья Владимирович, аспирант, ilyak91@yandex.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Лунев Александр Сергеевич, канд. техн. наук, докторант, Ertalay@yandex.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Сорокин Евгений Александрович, канд. техн. наук, доцент, srkn@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Никитин Александр Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, anikitin@sfu-kras.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Андрейчиков Иван Викторович, аспирант, andreichikov.ivan@yandex.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет

METHOD OF CALCULATION OF TEMPERATURE MODE OF CONTACT SPOT OPERATION AT HYDROSTATIC PRESSURE

I.V. Karnaukhov, A.S. Lunev, E.A. Sorokin, A.A. Nikitin, I.V. Andreichikov

The procedure for calculating the friction contact temperature mode at friction of samples under hydrostatic pressure conditions is presented. It has been shown that the temperature regime is largely determined by the average temperature of the friction surface, which is affected by the amount of hydrostatic pressure.

Key words: temperature regime, hydrostatic pressure, tribosystem, friction, working fluid.

Karnaukhov Ilya Vladimirovich, postgraduate, ilyak91@yandex.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Lunev Alexander Sergeevich, candidate of technical sciences, doctoral, Ermalay@yandex.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Sorokin Evgeny Alexandrovich, candidate of technical sciences, docent, srkn@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Nikitin Alexander Anatolyevich, candidate of technical sciences, docent, anikitin@sfu-kras.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Andreichikov Ivan Viktorovich, postgraduate, andreichikov.ivan@yandex.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University

УДК 621.225.2

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-507-508

ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЪЁМНЫХ НАСОСАХ НА ВЕЛИЧИНУ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

А.С. Лунев, И.В. Карнаухов, Е.А. Сорокин, В.А. Ионова, А.С. Каверзина

В статье рассматривается решение задачи об определении величины максимального повышения давления в рабочей камере аксиально-поршневого насоса в случае возникновения гидравлического удара в процессе регулирования при адаптации к быстропеременной или случайной нагрузке с учетом величины газосодержания рабочей жидкости.

Ключевые слова: аксиально-поршневой насос, гидравлический удар, рабочая жидкость, трубопровод, газосодержание.

При оценке конкурентоспособности гидроприводов учитывают показатели качества и, прежде всего, надежность и экономичность.

Одним из способов сокращения энергетических потерь в насосных установках является применение регулируемых насосов с обратной связью по давлению, обеспечивающих пропорциональное нагрузке давление на выходе насоса и, подачу, соответствующую потребляемому гидросистемой расходу рабочей жидкости. Это позволяет существенно снизить потребляемую мощность при быстропеременных и особенно, случайных нагрузках в гидродвигателях.

Основным недостатком гидроприводов машинного регулирования является высокая стоимость изготовления регулируемых насосов, но намечившиеся пути улучшения качества изготовления и контроля наиболее ответственных узлов, регулируемых гидромашин за счет автоматизации технологических процессов с использованием ЧПУ позволяют надеяться на решение этой проблемы [1].

Другой не менее важной проблемой, ограничивающей возможности расширения области применения гидроприводов машинного регулирования, является его повышенная чувствительность к явлениям гидравлического удара, возникающим при резком изменении расхода рабочей жидкости в гидросистеме в процессе адаптации к нагрузке. Нестационарные процессы сопровождаются значительными колебаниями давления в гидросистеме.

Изучением нестационарных процессов в гидросистемах занимались многие исследователи. Результаты теоретических и экспериментальных исследований нестационарного течения жидкости в трубопроводах нашли достаточно полное отражение в работах отечественных и зарубежных авторов.

Результаты исследований гидравлического удара в объемных гидромашинах наиболее полно отражены в работах Т. М. Башты. Указаны причины возникновения гидравлического удара в гидролиниях, насосах и гидроцилиндрах, рассмотрен характер процесса, указаны факторы, влияющие на частоту и амплитуду колебаний давления, приведены результаты экспериментальных исследований [2].

Характер протекания нестационарных процессов в отдельных участках гидролиний зависит от граничных условий.

В системах, адаптируемых к нагрузке, граничные условия в напорной линии на выходе из насоса зависят от параметров потока, изменяющихся в процессе регулирования. Особый интерес вызывают экстремальные режимы работы насоса, связанные с возникновением кавитации и сопровождающиеся колебаниями давления, вызванными обратным потоком жидкости из напорной линии в насос.

Этот вопрос представляется тем более важным, что колебания давления распространяются через жидкость в напорную магистраль гидросистемы и все ее отводы, возбуждая в них волновые процессы, а также вибрации механических элементов системы. Размах колебаний и соответственно уровень вибраций зависит от мгновенной мощности обратного потока жидкости при выравнивании давления в рабочих камерах насоса и напорной линии.

В технической литературе отсутствуют рекомендации для теоретического определения величины повышения давления в результате возникновения гидравлического удара в объемном насосе.

В данной работе намечен подход к решению задачи об определении величины максимального повышения давления в рабочей камере аксиально-поршневого насоса в случае возникновения гидравлического удара в процессе регулирования при адаптации к быстропеременной или случайной нагрузке с учетом величины газосодержания рабочей жидкости.

Одной из наиболее частых причин возникновения гидравлического удара объемных насосах является неполное заполнение его рабочих камер жидкостью.

Причиной неполного заполнения камер цилиндрического блока может быть несколько, в том числе кавитация в насосе, приводящая к отрыву столба жидкости от рабочей поверхности поршня, а также снижение давления во всасывающей линии до значения, при котором происходит интенсивное выделение из рабочей жидкости растворенного в ней воздуха, что приводит к образованию двухфазного газожидкостного потока с большим содержанием газовой фазы [3,4].

Физические и термодинамические свойства газожидкостной смеси существенно отличаются от свойств гомогенной жидкости, поэтому при расчете величины повышения давления необходимо уточнение параметров, входящих в уравнения гидравлического удара, таких, как плотность смеси и скорость распространения малых упругих возмущений в двухфазной среде.

В том случае, когда частично заполненная жидкостью рабочая камера соединяется с напорной линией гидросистемы, может возникнуть обратное течение жидкости из напорной линии в цилиндрический блок насоса.

Для определения величины повышения давления при прямом гидравлическом ударе в трубопроводах пользуются формуле (1) Н.Е. Жуковского:

$$\Delta P = \rho \cdot a \cdot V, \quad (1)$$

где ρ - плотность рабочей жидкости; a - скорость распространения звука в рабочей жидкости; V - скорость потока. С учетом физических особенностей процесса необходимо уточнение входящих в эту зависимость величин.

При этом потребуются решить две самостоятельные задачи: о выборе физической модели рабочей жидкости, заполняющей рабочую камеру насоса, и об определении скорости обратного потока жидкости из напорной линии в рабочие камеры цилиндрического блока [5,6].

При выборе физической модели жидкости, заполняющей рабочие камеры насоса, необходимо рассмотреть условия входа рабочей жидкости в насос, изменяющиеся в процессе регулирования.

В процессе адаптации насоса к изменяющейся нагрузке характер движения жидкости во всасывающем трубопроводе будет неустановившимся. Увеличение инерционного напора во всасывающей линии при увеличении подачи насоса приводит к снижению давления на входе в насос. Малое давление на входе в насос и наличие в жидкости растворенного и нерастворенного воздуха могут оказаться причиной неполного заполнения жидкостью рабочих камер насоса.

Влияние свободного и растворенного газа на начало кавитации проявляется по-разному.

Влияние содержания нерастворенного воздуха на кавитацию изучалось рядом экспериментаторов, которые искали связь между общим содержанием воздуха в жидкости и началом кавитации. Хотя результаты исследований не согласуются количественно и имеют большой разброс в каждой отдельно взятой совокупности данных, была обнаружена общая тенденция, заключающаяся в том, что с увеличением содержания нерастворенного воздуха, давление, при котором начинается кавитация, увеличивается.

Кроме того, пузырьки свободного газа играют роль ядер кавитации. Если ядра имеют подходящую форму и размеры, то могут образоваться пузырьки, имеющие радиус больше критического, и потому способные к дальнейшему расширению за счет диффузии в них растворенного газа.

Влияние присутствия в жидкости относительно большого количества растворенного воздуха на начало кавитации пока мало изучено. В отсутствие ядер кавитации влияние было бы, вероятно, очень слабым. Но при достаточном числе ядер содержание нерастворенного газа влияет на скорость их роста.

Необходимым условием роста ядер кавитации является уменьшение абсолютного давления в потоке ниже начального давления насыщения жидкости газом. При незначительном снижении давления процесс выделения растворенного газа и жидкости будет протекать достаточно медленно [7,8].

Согласно закону Генри содержание газа, растворенного в рабочей жидкости пропорционально давлению по формуле (2):

$$V_{\Gamma} = kV_{жс} \frac{p_{\Gamma}}{p_1}, \quad (2)$$

где V_{Γ} - объем растворенного газа, отнесенный к нормальному атмосферному давлению и нулевой температуре; $V_{жс}$ - объем жидкости, p_{Γ} и p_1 - начальное и конечное давление газа, находящегося в контакте с жидкостью; k - коэффициент растворимости газа в жидкости, зависящий от рода жидкости и газа. Коэффициент растворимости воздуха при $T = 293$ К для минеральных масел $k = 0,08$.

При возникновении нестационарного процесса время, в течение которого происходит выделение газа много меньше времени, необходимого для установления равновесия, поэтому объем газа, выделившийся из жидкости при прохождении потоком зоны незначительного понижения давления, по-видимому, нельзя вычислить, используя закон Генри.

С другой стороны, эксперименты показывают, что быстрое понижение давления ниже первоначального приводит к выделению малого объема газа только до тех пор, пока давление не уменьшится до некоторой критической величины, после чего начинается быстрое выделение газа. Это давление больше давления насыщенных паров при данных условиях, и некоторые последователи называют его давлением "освобождающим газ". При таких условиях большая часть растворенного газа выделится из жидкости. турбулентность, возможно, тоже способствует выделению газа, но этот вопрос не изучен.

Итак, явление кавитации в целом следует рассматривать как взаимодействие двух форм кавитации: паровой и газовой. Начала газовой и паровой кавитации не зависят одно от другого.

Критическое, с точки зрения возникновения кавитации, давление определяется физическими свойствами жидкости и в зависимости от ее состояния может изменяться в достаточно широких пределах.

Увеличение общего содержания воздуха в рабочей жидкости приводит к увеличению давления, соответствующего началу кавитации.

Как показали экспериментальные исследования, в зависимости от величины вакуума на входе в насос и от величины газосодержания физическая модель рабочей жидкости различна. Это может быть поток, содержащий пузырьки, невидимые глазом, поток с видимыми пузырьками или превращение масла в пену. Пенной называют двухфазную систему, состоящую из пузырьков газа, разделенных тонкими слоями жидкости.

Точное математическое описание газожидкостного потока не представляется возможным, поэтому целесообразно выбрать определенную модель, характеризующую исследуемый процесс.

Если давление на входе в насос значительно превышает давление насыщенных паров, то в насос поступает однородная рабочая жидкость с относительно малым содержанием свободного воздуха.

Если давление на входе в насос снижается до давления насыщенных паров, и парообразованием охвачена большая часть сечения потока, то поток оторвется от поршня и при дальнейшем ходе поршня будет всасываться не капельная жидкость, а ее пары. Таким образом, насос прекратит свое всасывающее действие, а его рабочие полости окажутся заполненными парами рабочей жидкости.

Если давление на входе в насос больше давления парообразования, но меньше давления, соответствующего интенсивному выделению из рабочей жидкости растворенного воздуха, то за основу целесообразно принять модель гомогенного газожидкостного потока, физические свойства которого зависят от содержания свободного газа. В этом случае плотность газожидкостной смеси зависит от величины объемного газосодержания и может быть определена по соотношению по формуле (3):

$$\rho_{см} = \rho_{г}\beta + \rho_{ж}(1 - \beta), \quad (3)$$

где β - объемное расходное газосодержание по формуле (4);

$$\beta = \frac{Q_{г}}{Q_{ж} + Q_{г}}, \quad (4)$$

где $Q_{г}$ и $Q_{ж}$ - объемный расход газа и жидкости.

Скорость звука в двухфазной среде как скорость распространения слабого упругого возмущения в общем случае зависит от физических свойств фаз смеси, их концентрации и теплообмена между фазами. Газожидкостная смесь, состоящая из почти несжимаемой жидкости с относительно большой плотностью и сжимаемого газа, имеет повышенную сжимаемость. Объясняется это тем, что с уменьшением газосодержания коэффициент сжимаемости смеси снижается медленнее, чем растет плотность. Это приводит к тому, что скорость звука в газожидкостной смеси существенно ниже, чем в однофазном газовом потоке [9].

Для политропного процесса скорость звука в газожидкостной смеси можно определить по формуле (5):

$$a_{см} = \sqrt{\frac{mp}{\rho_{см}\beta}}, \quad (5)$$

где m - показатель политропы по формуле (6).

$$m = \frac{(1 - x)c_{VЖ} + xc_{PГ}}{(1 - x)c_{VЖ} + xc_{VГ}}, \quad (6)$$

где x - массовое газосодержание смеси, равное отношению массового расхода газа к массовому расходу смеси; $c_{VЖ}$ - удельная теплоемкость жидкости при постоянном объеме; $c_{PГ}$ и $c_{VГ}$ - удельная теплоемкость газа соответственно при постоянном давлении и постоянном объеме.

В тех случаях, когда камеры насоса заполнены парами рабочей жидкости или двухфазной смеси с большим содержанием газовой фазы, при обратном ходе поршня и соединении рабочей камеры насоса с напорной линией вследствие сжимаемости среды возможно возникновение обратного потока жидкости и сопутствующего этому явлению гидравлического удара.

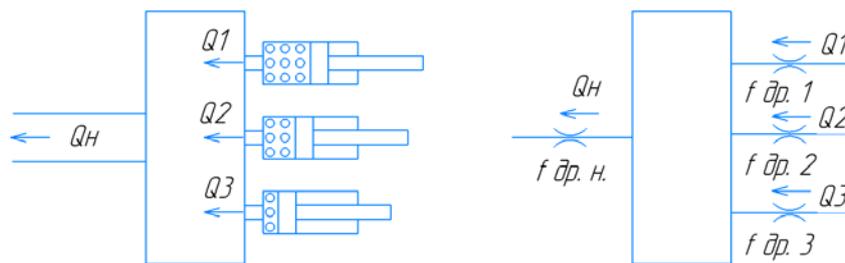
Величина повышения давления при гидроударе зависит от физических свойств рабочей жидкости, скорости распространения упругих возмущений и скорости обратного потока.

Для определения скорости обратного потока авторы предлагают воспользоваться эквивалентной замещающей схемой и рассматривать движение жидкости из напорной линии в рабочую камеру насоса как течение через проточную камеру с одним входом и несколькими выходами, в зависимости от числа рабочих камер цилиндрического блока, соединенных одновременно с нагнетательной камерой распределительного диска.

В соответствии с выбранной моделью предполагаем, что при завершении процесса всасывания рабочие камеры цилиндрического блока заполнены газожидкостной смесью.

На схеме условно показаны три рабочих камеры аксиально-поршневого насоса, одновременно соединенных через камеру нагнетания распределительного диска с напорной линией гидросистемы. Давление в линии нагнетания обозначим $p_{н}$ в распределительной камере $p_{к}$, в цилиндрах $p_{ц}$.

Короткие каналы, соединяющие напорную камеру распределительного диска с линией нагнетания и рабочими полостями цилиндрического блока насоса, на схеме представлены в виде постоянных дросселей с эффективной площадью проходных сечений $f_{дрн}, f_{др1}, f_{др2}, f_{др3}$ соответственно.



Эквивалентная замещающая схема

При движении поршня влево в начале процесса нагнетания давление под поршнем будет нарастать постепенно вследствие сжимаемости газожидкостной смеси. В любой момент времени при определенном положении поршня в соответствии с законом изменения регулируемого параметра величина давления в рабочих цилиндрах насоса может быть определена по уравнению состояния для соответствующего термодинамического процесса.

Если к моменту соединения рабочей полости насоса с распределительной камерой давление под поршнем не достигнет величины давления в линии нагнетания, то в момент соединения произойдет выравнивание давления и, вследствие сжимаемости газожидкостной смеси, начнется движение жидкости из напорной линии через распределительную камеру в рабочую камеру насоса навстречу движущемуся поршню [10].

Скорость обратного потока можно определить по формуле (7), воспользовавшись уравнением неразрывности потока в междроссельной камере, из которого следует:

$$\mu_n f_{dp.n} \sqrt{\frac{2(p_n - p_k)}{\rho}} = \sum_{i=1}^n \mu_i f_{dp.i} \sqrt{\frac{2(p_k - p_{ci})}{\rho}}, \quad (7)$$

где μ_n, μ_i - коэффициенты расхода через постоянные дроссели с площадью проходного сечения f_n, f_i соответственно; ρ - плотность рабочей жидкости в напорной линии.

Из этого соотношения вычисляют давление в междроссельной камере p_k , а затем находят расход Q_i и скорость обратного потока в рабочей камере насоса.

Зная скорость обратного потока, плотность газожидкостной смеси и скорость распространения малых упругих возмущений в ней, используя зависимость, определяют величину повышения давления, вызванного внезапной остановкой обратного потока при встрече с движущимся навстречу ему поршнем.

Одновременно с возникновением обратного течения давление в напорном трубопроводе у насоса уменьшится на величину по формуле (8):

$$\Delta p = \rho a V_{обр}, \quad (8)$$

где ρ - плотность рабочей жидкости в напорном трубопроводе; a - скорость звука в рабочей жидкости, $V_{обр}$ - скорость обратного потока.

Созданное понижение давления начнет распространяться от насоса по напорному трубопроводу. Вслед за волной понижения давления через небольшой промежуток времени в том же направлении пойдет волна повышения давления, отразившаяся от поршня насоса.

Частота вынужденных колебаний давления, создаваемых насосом, зависит от частоты вращения насоса и числа цилиндров аксиально-поршневого насоса.

Заключение. Предложенная схема определения граничных условия при расчете колебательного процесса соответствует наиболее простому случаю прямого гидравлического удара в потоке гомогенной жидкости, имеющей постоянную плотность. В действительности происходит более сложный процесс. Часть пространства в рабочей камере насоса при завершении процесса нагнетания оказывается заполненной сжатым воздухом, который может вытисниться в напорный трубопровод и далее в гидросистему. Учет влияния свободного воздуха на характеристики колебательного процесса в гидросистеме представляет предмет дальнейших исследований.

Список литературы

1. Волков Г.Ю. Проблемы численного моделирования конденсационного гидроудара двухжидкостными кодами и возможный механизм падения давления перед гидроударом / Г. Ю. Волков, В. И. Мелихов, О. И. Мелихов // Волны и вихри в сложных средах: Сборник материалов 12-ой международной конференции - школы молодых ученых, Москва, 01–03 декабря 2021 года. Москва: ООО «ИСПО-принт», 2021. С. 60-63. EDN ZNNOJG.
2. Башта Т.М., Руднев, Некрасов Объемные насосы и гидравлические двигатели. М.: Машиностроение, 1974. 605 с.
3. Турнеев В.Р. Гидроудар и кавитация как составляющие комплексной очистки балластных вод / В. Р. Турнеев, Е. В. Богатырева // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2023. № 1. С. 82-88. DOI 10.26296/2619-0605.2023.1.1.007. EDN MTRWDE.
4. Экспериментальное исследование конденсационных гидроударов на стенде АО"ЭНИЦ" / И. В. Елкин, С. М. Никонов, В. И. Мелихов [и др.] // Трубопроводная арматура и оборудование. 2019. № 1(100). С. 44-45. EDN: UBZLXA.
5. Валиев Т.З. Исследование влияния явления гидроудара на центробежный насос методами вычислительной гидродинамики // Студенческая научная весна, ООО "Издательский дом "Научная библиотека", 2018. С. 133-134. EDN YEXITG.

6. Прибатурин Н.А. Формирование и развитие конденсационных гидроударов в трубопроводах / Н. А. Прибатурин, С. И. Лежнин // Безопасность, эффективность, ресурс. Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»; Ядерное общество России. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2018. – С. 65-67. – EDN MLEMZF.

7. Соложенко Т.В. Защита запорного устройства гидропривода от гидроудара // Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета: Тезисы докладов. В 2-х частях, Волгоград, 16–19 мая 2017 года / Редколлегия: А.В. Навроцкий (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2017. С. 150. EDN: ZALFTJ.

8. Патент на полезную модель № 67675 U1 Российская Федерация, МПК F16L 55/05. демпфер гидравлического удара: № 2007120335/22: заявл. 30.05.2007: опубл. 27.10.2007 / А. С. Лунев, А. А. Никитин, А. А. Михайлов; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Сибирский федеральный университет (СФУ). EDN SPPLDH.

9. Comparative analysis of the dependence of the bulk elastic modulus of the liquid on pressure and gas factor / A. S. Lunev, A. A. Nikitin, Y. F. Kaizer [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Polytechnical Institute of Siberian Federal University. Vol. 1399. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. P. 55083. DOI 10.1088/1742-6596/1399/5/055083. EDN MYULEM.

10. Лунев А.С. Метод контроля параметров гидравлического привода при наличии нерастворенной газовой фазы в рабочей жидкости: специальность 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лунев Александр Сергеевич. Красноярск, 2022. 20 с. EDN QNQPWQ.

Лунев Александр Сергеевич, канд. техн. наук, докторант, Ermalay@yandex.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Карнаухов Илья Владимирович, аспирант, ilyak91@yandex.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Сорокин Евгений Александрович, канд. техн. наук, доцент, srkn@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Ионова Вера Анатольевна, аспирант, vera-pavlinich@yandex.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет,

Каверзина Анна Сергеевна, канд. техн. наук, доцент, kas_05@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет

IMPACT OF TRANSIENT PROCESSES IN VOLUMETRIC PUMPS ON HYDRAULIC IMPACT

A.S. Lunev, I.V. Karnaukhov, E.A. Sorokin, V.A. Ionova, A.S. Kaverzina

The article discusses the solution of the problem of determining the maximum increase in pressure in the working chamber of the axial-piston pump in the event of a hydraulic shock during regulation when adapting to a quick or random load, taking into account the value of the gas content of the working fluid.

Key words: axial piston pump, hydraulic shock, working fluid, pipeline, gas content.

Lunev Alexander Sergeevich, candidate of technical sciences, doctoral, Ermalay@yandex.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Karnaukhov Ilya Vladimirovich, postgraduate, ilyak91@yandex.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Sorokin Evgeny Alexandrovich, candidate of technical sciences, docent, srkn@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Ionova Vera Anatolyevna, postgraduate, vera-pavlinich@yandex.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Kaverzina Anna Sergeevna, candidate of technical sciences, docent, kas_05@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University

САМОДЕЙСТВУЮЩИЙ КОЛЬЦЕВОЙ КЛАПАН С ЖИДКОСТНЫМ ОГРАНИЧИТЕЛЕМ ПОДЪЕМА И МЕТОДИКА ЕГО РАСЧЕТА

Р.Э. Кобыльский

В данной работе проведен анализ причин, столь, частого выхода из строя самодействующих клапанов. Самым слабым местом оказался прижимной элемент (пружина), который в виду малой толщины и высокой чувствительности к различным факторам агрессивной среды является наиболее частой причиной сбоев. Также пружина склонна к водородному охрупчиванию. Еще одним недостатком использования пружин является то, что при ударе запорного элемента об ограничитель происходит отрыв пружины от последнего, приводящий к возникновению дополнительных вибрационных колебаний (автоколебаний), что снижает долговечность работы клапана. Сравнительно пионерским решением в области самодействующих клапанов является конструкция клапана, в которых роль прижимного элемента (пружины) выполняют магниты, установленные одноименными полюсами друг к другу. Основным недостатком использования магнитов в качестве прижимного элемента (пружины) являются их хрупкость, возможность «размагничивания» и что более важно парамагнитные и диамагнитные свойства большинства самых распространенных газов, которые оказывают существенное влияние на течение газа через клапан. В результате, был предложен самодействующий клапан с жидкостным ограничителем подъема и способ его работы. Описана методика расчета последнего.

Ключевые слова: самодействующий клапан, жидкостная камера, пружина, магнитный клапан, методика расчета.

Органы газораспределения как вспомогательный элемент технологических машин и оборудования, нашли свое широкое применение, практически во всех отраслях народного хозяйства таких как: химическое и нефтегазовое производство, металлургия, фармацевтика, целлюлозно-бумажная промышленность, производство азотных удобрений, горная и газовая промышленность, ж/д транспорт и т.д. [1-4]. Самодействующие клапаны, которые открываются за счет разности давлений, устанавливаются в качестве органов газораспределения в машинах объемного действия, преимущественно в поршневых компрессорах, насосах, гибридных машинах, а также в спиральных холодильных компрессорах среднего давления. Клапаны принудительного действия, которые открываются посредством воздействия вспомогательного элемента (например, золотника или эксцентрика) устанавливаются в двигателях внутреннего сгорания, поршневых пневмодвигателях и детандерах.

Объект исследования. Рассмотрим самодействующий кольцевой клапан для поршневого компрессора, общий вид которого представлен на рис. 1.

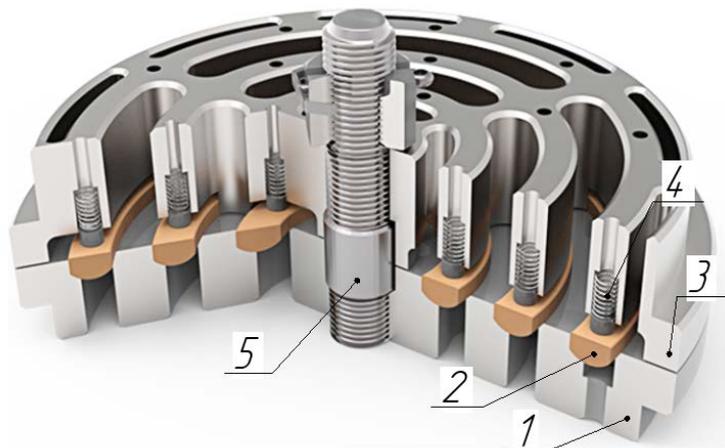


Рис. 1. Общий вид самодействующего кольцевого клапана

Конструкция рассматриваемого клапана общеизвестна [2, 4, 5, 6] и состоит из следующих основных элементов: 1 – седло, 2 – запорный элемент, 3 – ограничитель подъема, 4 – прижимной элемент (пружина, в данном случае точечная цилиндрическая) и 5 – шпилька.

Прижимной элемент в виду малой толщины и высокой чувствительности к различным факторам агрессивной среды является наиболее частой причиной сбоев. Наиболее непреодолимой проблемой является наводороживание пружин, их водородное охрупчивание. Подобрать материал для пружин клапана, отвечающий всем требованиям суровых условий эксплуатации достаточно сложно. Чаще всего их изготавливают из дорогих высоколегированных сталей, соблюдая высокие требования к гладкости поверхности проволоки, т.к. в цапках неизбежно развивается коррозия, приводящая к поломке пружин. Еще одним недостатком использования пружин является то, что при ударе запорного элемента об ограничитель происходит отрыв пружины от последнего, приводящий к возникновению дополнительных вибрационных колебаний (автоколебаний), что снижает долговечность работы клапана [7].

Сравнительно пионерским решением в области самодействующих клапанов является конструкция клапана, в которых роль прижимного элемента (пружины) выполняют магниты, установленные одноименными полюсами друг к другу, общий вид представлен на рис. 2 [7].

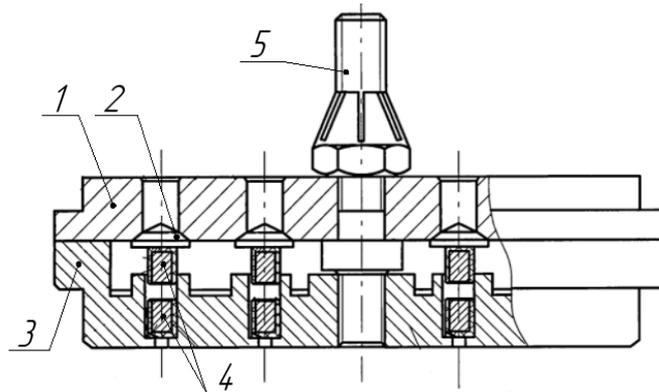


Рис. 2. Общий вид самодействующего тарельчатого магнитного клапана: 1 – седло; 2 – запорный элемент; 3 – ограничитель подъема; 4 – прижимной элемент (магниты); 5 – шпилька

Также известная конструкция самодействующего клапана с прорезинеными магнитами для снижения утечек рабочей среды в закрытых клапанах [8].

Основным недостатком использования магнитов в качестве прижимного элемента (пружины) являются их хрупкость, возможность «размагничивания» и что более важно парамагнитные и диамагнитные свойства большинства самых распространенных газов, которые оказывают существенное искажения течения газа через клапан.

Соответственно, основной целью данной работы являются, предложить конструкцию самодействующего кольцевого клапана прижимной элемент, которого способен надежно работать с любым рабочим газом и в любой агрессивной среде, обеспечивать плотность в закрытом состоянии, быть дешевым как с точки зрения производства, так и с точки зрения эксплуатации, не вызывать вибрационных колебаний.

Наиболее полно удовлетворять вышеизложенным требованиям будет конструкция самодействующего клапана прижимной элемент которого будет выполнять жидкость (например, компрессорное масло), рис. 3.

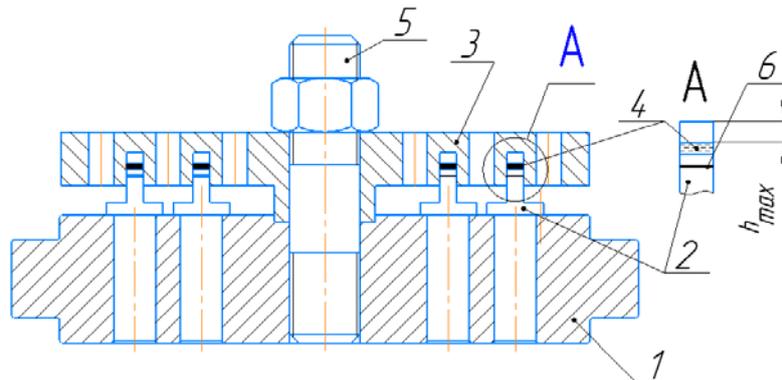


Рис. 3. Общий вид самодействующего кольцевого клапана с жидкостным ограничителем подъема: 1 – седло; 2 – запорный элемент; 3 – ограничитель подъема; 4 – прижимной элемент (магниты); 5 – шпилька; 6 – уплотнительное резиновое кольцо

Учитывая небольшое давление, развиваемое в жидкостной камере, эффект "жидкостной пружины" будет отсутствовать, отскока прижимного элемента не будет (вибрационных колебаний). Помимо этого, учитывая крайне малую объемную сжимаемость жидкости, жидкость будет выполнять роль ограничителя подъема. Своевременное открытие клапана будет выполняться в момент преодоления газовой силы над силой статического трения плунжера в жидкостной камере. Так как прижимной элемент не взаимодействуют напрямую с рабочей средой, то ограничения по области применения нет.

Кольцо данного клапана будет несколько отличаться от классических конструкций и представляет собой кольцо со своеобразным плунжером на котором находится стандартное уплотнительное кольцо (O-ring).

Методика расчета. Методику расчета газового тракта и термодинамический расчет опустим, так как новизны расчета в данных пунктах нет, данные методики общеизвестны и представлены в многочисленных работах [9-11].

Ниже будет представлена методик расчета силы трения плунжера в жидкостной камере, которую необходимо создать для своевременного открытия клапана. Методика основана на следующих источниках [12-15].

В начале определим приведенную массу:

$$m = \frac{m_{пл} + \sum m_{жс}}{f_c}, \quad (1)$$

где $m_{пл}$ – масса запорного элемента (кольца), кг; $\sum m_{жс}$ – сумма масс всех жидкостей, находящихся в камерах, кг; f_c – площадь седла, м².

Затем определяем скорость изменения потери давления, или угловой коэффициент:

$$A_S = \frac{\pi^2 k}{2} (1 - \lambda) M^2; \quad (2)$$

$$A_S = \frac{\pi^2 k}{2} (1 + \lambda) M^2; \quad (3)$$

где k – коэффициент адиабаты; λ – отношения радиуса кривошипа к длине шатуна; M – критерий скорости газа.

Формула (2) применяется при расчет углового коэффициента в конце хода к валу, формула (3) в конце хода к крышке.

Далее необходимо ввести поправочный коэффициент:

$$v = 0,95k(1 - \lambda); \quad (4)$$

$$v = 0,57k(1 + \lambda); \quad (5)$$

Аналогия применения такая же, как и для вышеупомянутых формул.

Определим скорость снижения давления потока на кольцо по ходу поршня:

$$g_s = \rho_p p v A_S; \quad (6)$$

где ρ_p – коэффициент давления; p – давление всасывания/нагнетания, Па.

Находим определить высоты подъема кольца:

$$F_h = \frac{\omega^2 m h}{g_s}, \quad (7)$$

где ω – угловая скорость, рад/с; h – высота подъема запорного элемента, м.

Рассчитываем определить потери давления для всасывающего клапана (8) и для нагнетательного (9):

$$F_x(\phi_1) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\lambda}{4} + \cos \phi_1 + \frac{\lambda}{4} \cos 2\phi_1 \right); \quad (8)$$

$$F_x(\phi_1) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\lambda}{4} - \cos \phi_1 - \frac{\lambda}{4} \cos 2\phi_1 \right), \quad (9)$$

где ϕ_1 – угол поворота коленчатого вала.

Определим усилие, которое необходимо обеспечить для своевременного открытия клапана:

$$\beta_{np} = g_s F_x. \quad (10)$$

Затем данную величину необходимо скорректировать с учетом веса подвижных частей:

$$g_{н.ч.} = \frac{9,81(m_{нл} + \sum m_{жс})}{f_c}. \quad (11)$$

Определяем скорректированное усилие:

$$\beta_{np1} = (1,1(\beta_{np} + R g_{н.ч.})) / i, \quad (12)$$

где R – коэффициент, учитывающий расположение клапана; i – количество одновременно действующих жидкостных камер.

Согласно усилию рассчитанного по формуле (12) необходимо обеспечить эквивалентную силу статического трения плунжера в жидкостной камере [16]:

$$\beta_{np1} = F_{mp} = f \pi D b p_y, \quad (13)$$

где f – коэффициент статического трения; D – внутренний диаметр жидкостной камеры, м; b – ширина уплотнения, м; p_y – сила упругости материала и первоначального поджатия, Па.

Выводы. В результате проведенной работы было выявлено, что одним из слабых мест самодействующих клапанов (на примере кольцевого клапана) является пружина (прижимной элемент), которая подвержена частым поломкам, чувствительна к рабочим средам и дорога в изготовлении. Литературный обзор выявил, что на сегодняшний день известно ряд интеллектуальных решений, в которых пружину заменяют на магниты. Основным недостатком магнитов являются их хрупкость, возможность «размагничивания» и что более важно парамагнитные и диамагнитные свойства большинства самых распространенных газов, которые оказывают существенное искажение на течения газа через клапан. Уточнив проблему, был предложен самодействующий клапан с жидкостным ограничителем подъема, в котором отсутствуют все вышеизложенные проблемы, а также методика его расчета.

Список литературы

1. Щерба В. Е. Теория, расчет и конструирование поршневых компрессоров объемного действия : учебное пособие для вузов / В. Е. Щерба. — 2-е изд., доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. 323 с.
2. Прилуцкий И. К. Метод определения мгновенных локальных коэффициентов теплоотдачи в элементах ступеней машин объемного действия // Технические Газы. 2013. № 4. С.19-26.
3. Пластинин П. И. Поршневые компрессоры. В 2 т. Т. 1. Теория и расчёт. 3 изд. Москва: КолосС, 2006. 456 с. ISBN 9-9532-0428-0.

4. Кондратьева Т. Ф., Исаков В. П. Клапаны поршневых компрессоров. Л.: Машиностроение, 2017. 158 с.
5. Сарманаева А. Ф., Мустафин Т. Н., Чекушкин Г. Н. Расчетно-экспериментальное исследование кольцевых самодействующих клапанов на основе моделирования реальной ступени поршневого компрессора // Компрессорная техника и пневматика. 2014. № 4. С. 36-39.
6. Павлюченко Е.А., Тегжанов А.С., Щерба В.Е., Лысенко Е.А., Кужбанов А.К. Анализ методов расчета уплотнения гибридных энергетических машин // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2023. Т. 7, № 1. С. 40-46. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-1-40-46.
7. Дударенко А.П. Самодействующий клапан: пат. 108536 Рос. Федерация: МПК F16K 15/08, F16K 39/10. А.П. Дударенко – 2011. – Бюл. № 26.
8. Кобыльский Р.Э. Самодействующий магнитный клапан: пат. 220175 Рос. Федерация: МПК F16K 15/02, F16K 31/08, F04B 53/10. Р.Э. Кобыльский, И.С. Бусаров, А.В. Недовенчаный, В.И. Карагусов, 2023. Бюл. № 25.
9. Френкель М.И. Поршневые компрессоры: теория, конструкции и основы проектирования. 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Машиностроение, 1969. 744 с.
10. Фотин Б.С., Пирумов И.Б., Прилуцкий И.К., Пластинин П.И. Поршневые компрессоры / под общ. ред. Б.С. Фогина. Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. 372 с.
11. Котлов А.А. Влияние параметров кольцевого клапана на процессы всасывания и нагнетания в поршневых компрессорах // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. Том 24, № 3. 2018. С. 56-66.
12. Котлов А.А. Параметрический анализ самодействующих клапанов поршневых компрессоров методами математического моделирования // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. № 5(710). 2019. С. 27-35.
13. Котлов А.А., Бураков А.В. Сравнительный анализ работы одноступенчатого поршневого компрессора, сжимающего различные газы // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2019. Т. 3, № 4. С. 26–35. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-4-26-35.
14. Бусаров И.С., Бусаров С.С., Юша В.Л. Влияние деформации проточной части эластомерных элементов самодействующих клапанов на характеристики тихоходных длинноходных компрессорных ступеней // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2021. Т. 5, № 4. С. 33–38. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-4-33-38.
15. Васильева В.А., Чернышев А. В. Исследование аэродинамической составляющей нагрузки, действующей на клапан запорно-регулирующего устройства // Химическое и нефтяное машиностроение. 2014. № 8. С. 7-12.
16. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение. 1968. С. 480.

Кобыльский Роман Эдуардович, аспирант, roman.kobilsky@gmail.com, Россия, Омск, Омский государственный технический университет

SELF-ACTING RING VALVE WITH LIQUID LIFTING LIMITER AND ITS CALCULATION METHOD

R.E. Kobylsky

In this paper, an analysis of the causes of such frequent failure of self-acting valves is carried out. The weakest point was the clamping element (spring), which, due to its small thickness and high sensitivity to various factors of an aggressive environment, is the most common cause of failures. Also, the spring is prone to hydrogen embrittlement. Another disadvantage of using springs is that when the locking element hits the limiter, the spring is detached from the latter, leading to additional vibration vibrations (self-oscillations), which reduces the durability of the valve. A relatively pioneering solution in the field of self-acting valves is the design of the valve, in which the role of the clamping element (spring) is performed by magnets mounted with the same poles to each other. The main disadvantage of using magnets as a clamping element (springs) is their fragility, the possibility of "demagnetization" and, more importantly, the paramagnetic and diamagnetic properties of most of the most common gases, which have a significant distortion of the gas flow through the valve. As a result, a self-acting valve with a liquid lifting limiter and a method of its operation were proposed. The method of calculating the latter is described.

Key words: self-acting valve, liquid chamber, spring, magnetic valve, calculation method.

Kobylsky Roman Eduardovich, postgraduate, roman.kobilsky@gmail.com, Russia, Omsk, Omsk State Technical University

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И КОМПЛЕКСЫ

УДК 629.4.027

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-516-517

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ЛОКОМОТИВОВ

Н.А. Ефимов, А.С. Тычков

Рассмотрено устройство шарнирно-поводковых буксовых узлов локомотивов и их недостатки. Для улучшения динамики ходовой части подвижного состава разработано новое устройство шарнирного поводка. Положительный эффект достигается за счёт снижения нагрузок в процессе радиальной установки осей колесных пар при уменьшении осевой и радиальной жёсткости составляющих резиновых втулок-сайлентблоков и ограничении рабочей деформации их торцов. Произведены сравнительные расчёты жёсткостных характеристик упругих резиновых элементов поводков настоящего и предлагаемого буксового узла, которые подтверждаются результатами поверочных экспериментов. Предлагается для изготовления втулок применять антифрикционный материал фторопласт. Новое устройство шарнирного поводка позволит в итоге уменьшить износ гребней бандажей колёсных пар.

Ключевые слова: подвижной состав, колесные пары, буксовый узел, поводок, сайлентблок, торцовые шайбы, жесткость, фторопласт.

Буксовые узлы относятся к весьма ответственным элементам ходовой части подвижного состава (ПС). Они обеспечивают передачу нагрузки от кузова ПС на шейки осей колёсных пар и ограничивают при этом их продольные и поперечные перемещения относительно рамы тележки. Буксы также выполняют роль амортизаторов, поглощая удары и вибрации при движении по неровностям пути и повышая комфорт пассажиров. От их надёжности зависит безопасность движения ПС. При движении тележка воспринимает высокие ускорения, возникающие вследствие взаимодействия колеса и рельса, и преобразует их в более низкие ускорения кузова. Снижать ускорения можно уменьшая жесткость рессорного подвешивания и увеличивая массу тележки. Предпочтение отдается снижению жесткости.

Недостатками настоящих шарнирно-поводковых буксовых узлов тягового подвижного состава являются низкая надежность поводка буксы в связи с неограниченной рабочей деформацией резиновых втулок и торцовых шайб поводка, появлением в них высоких остаточных деформаций, увеличением их жёсткости, потерей демпфирующих свойств, приводящее в комплексе к высоким нагрузкам в процессе радиальной установки осей колесных пар, к разрушению резиновых элементов и интенсивному износу гребней бандажей колёсных пар.

Для улучшения динамики ходовой части ПС весьма актуальными являются разработки по применению эластомеров в упругих опорных элементах его ходовых частей [1]. Разработано устройство шарнирного поводка буксового узла, позволяющее повысить его надежность при уменьшении осевой и радиальной жёсткости составляющих эластичных втулок-сайлентблоков [2]. Положительный эффект достигается за счёт снижения нагрузок в процессе радиальной установки осей колесных пар при уменьшении осевой и радиальной жёсткости составляющих резиновых втулок-сайлентблоков и ограничении рабочей деформации их торцов. Что в итоге уменьшает износ гребней бандажей колёсных пар. На рис.1 изображен предлагаемый поводок шарнирно-поводковых бесчелюстных букс тягового подвижного состава.

Поводок шарнирно-поводковых буксовых узлов локомотивов содержит корпус 1 с буксовой и рамной головками 2,5, буксовый и рамный валики 3,4, сопряженные с головками корпуса поводка посредством промежуточных металлических втулок 6 и резиновых втулок 7, упорные втулки 8, установленные в средних частях обоих головок корпуса поводка, упорные втулки 9, дополнительно установленные в торцовых частях обоих головок корпуса поводка, торцовые шайбы 10.

В продольном направлении воспринимают нагрузку резиновые втулки сайлентблоки существующего и предлагаемого образцов поводка буксового узла, а именно две втулки при связи с рамой и две втулки при связи с буксой, которые работают последовательно.

По практическим формулам [3] были произведены сравнительные расчёты жёсткостных характеристик упругих резиновых элементов поводков настоящего и предлагаемого буксового узла для морозостойкой резины марки 7-2462, модуль упругости при сдвиге $G=1,5$ МПа.

Осевая жесткость резиновой втулки:

$$J_{вт} = \frac{2\pi \cdot G \cdot l}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (1)$$

где G – модуль упругости при сдвиге; h – твердость по Шору А; l – длину втулки; d_1 , d_2 – внешний и внутренний диаметры втулки.

Жесткость резиновой втулки при действии радиальной силы:

$$J_p = \frac{3}{2} \cdot \frac{\pi \cdot G \cdot l}{\delta^3} (r_1 + r_2) \beta, \quad (2)$$

где r_1, r_2 – наружный и внутренний радиусы втулки; δ – толщина втулки.

$$\beta = 1 \text{ при } l > 6(r_1 + r_2), \quad \beta = \frac{l^2 + 6\delta^2}{l^2 + 3(r_1 + r_2)^2} \text{ при } l \leq 6(r_1 + r_2).$$

Осевая жесткость резиновой торцевой шайбы:

$$J_{ш} = \frac{k \cdot S \cdot E}{H - \Delta}, \quad (3)$$

где k – коэффициента формы резины; S – площадь нагружения; E – модуль упругости; H – высота резины; ΔH – деформация сжатия, м.

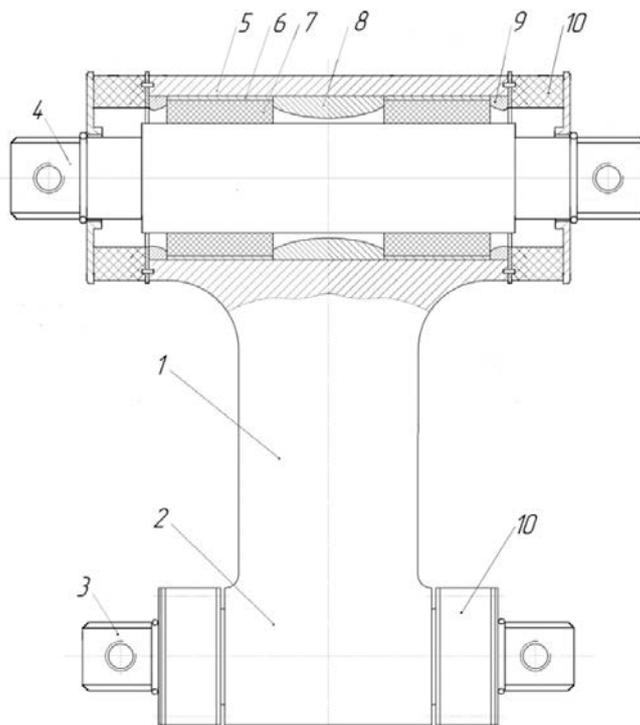


Рис. 1. Поводок шарнирно-поводковых буксовых узлов

При относительной деформации до 20% принимается $\Delta H = 0$.

Расчётные зависимости суммарной эквивалентной продольной жесткости резиновых элементов существующего и предлагаемого образцов поводка буксового узла от деформации представлены на рис.2.

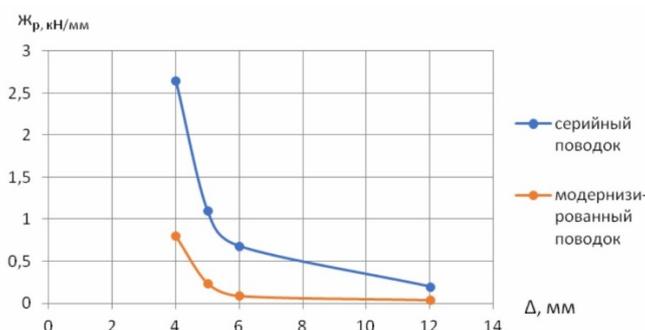


Рис. 2. Продольные нагрузочные характеристики

В поперечном направлении нагрузку воспринимают резиновые торцевые шайбы, работая на сжатие, а сайлентблоки на сдвиг. При этом в каждом резинометаллическом шарнире они работают последовательно, а все резинометаллические шарниры работают параллельно.

Расчётные зависимости суммарной эквивалентной поперечной жесткости резиновых элементов существующего и предлагаемого образцов поводка буксового узла от деформации представлены на рис.3.

Для снижения жесткости буксовых связей и уменьшения сопротивления радиальной само установке колесных пар при движении в кривых предлагается усовершенствовать буксовый узел, установив в среднюю часть головок корпусов втулки из антифрикционного материала, например, из фторопласта, а длину втулок уменьшить до определённой величины [4].

Фторопласт имеет весьма серьезные технологические преимущества:

1. Устойчивость практически к любому химическому воздействию.
2. Низкий коэффициент трения.

3. Устойчивость к сцеплению с другими поверхностями.
 4. Термостойкость — гибкость и эластичность материала сохраняются при температурах в диапазоне от -70° до $+270^{\circ}\text{C}$.
 5. Минимальное поверхностное натяжение.
 6. Устойчивость к воздействию электротока и высоким температурам. Фторопласт практически не горит, в пламени он только обугливается, а при извлечении его из открытого огня полностью прекращается и обугливание.
 7. Способность изделий из фторопласта не изменять свою длину даже под воздействием температуры.
- Кроме того, фторопласт отлично поддается механической обработке, что облегчает изготовление предлагаемых втулок [5].

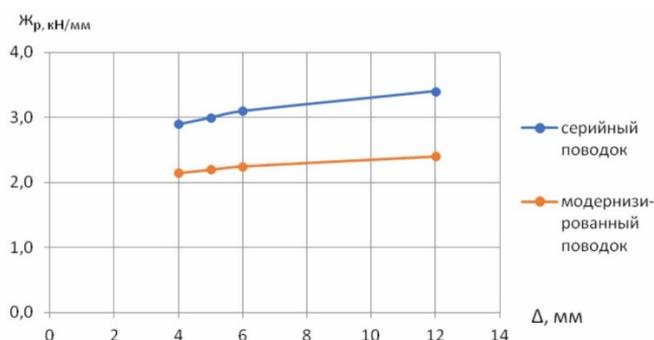


Рис. 3. Поперечные нагрузочные характеристики

Расчётные значения подтверждаются результатами поверочных экспериментов по установлению продольной и поперечной жесткости предлагаемого поводка, которые показали удовлетворительную сходимость, максимальные расхождения не превышают 12-15%.

Предлагаемое устройство позволяет повысить надежность поводков и всего шарнирно-поводкового буксового узла локомотива, снизить нагрузки в процессе радиальной установки осей колесных пар, возникающие направляющие усилия и в итоге уменьшить износ гребней бандажей колёсных пар. В конструкции механической части происходит довольно интенсивный износ элементов, так как узлы работают при значительных нагрузках, зачастую в сложных повторяющихся знакопеременных циклах, особенно в режиме организации тяжеловесного движения [6, 7]. Также значительное влияние на элементы конструкции оказывают климатические условия и фактор сезонности - высокие и низкие температуры, колебания температуры в районе нулевых значений. Указанные явления подтверждаются статистикой неплановых ремонтов, центров мониторинга, информационной комплексной системы контроля устранения отказов технических средств и анализа их надёжности "КАСАНТ".

Жёсткостные характеристики предлагаемого поводка буксового узла показывают снижение жесткости упругих связей в продольном и поперечном направлениях, что даёт существенный положительный эффект. В связи с этим предлагается применение данного технологического решения для модернизации конструкции рессорного подвешивания тягового подвижного состава, но с обязательным проведением экономического обоснования, которое позволит оценить степень целесообразности предлагаемых мероприятий.

Список литературы

1. Дергачёв Э.П., Дергачёв Э.Э. Снижение динамической нагруженности подвагонного оборудования // Железнодорожный транспорт, 2005. №10. С. 60-62.
2. Патент РФ на полезную модель №77593 РФ, МПК В61D 5/26. Поводок буксы.
3. Механическая часть тягового подвижного состава: учебник для студентов вузов ж.-д. транспорта / Бирюков И.В., Савоськин А.Н., Бурчак Г.П. и др.; под ред. И.В. Бирюкова. – М.: Альянс, 2013. – 440 с.
4. Ефимов Н.А., Тычков А.С. Эластичные полиуретановые амортизаторы // Современные технологии. системный анализ. Моделирование. Иркутский государственный университет путей сообщения. № 4 (76), 2022, С. 206-214.
5. ГОСТ 10007-80 Фторопласт-4 Технические условия Polytetrafluoroethylene. Specifications МКС 83.080.20 ОКП 22 1312.
6. Развитие тяжеловесного движения на поволжском полигоне / П.В. Шепелин, В. А. Силаев, Н. А. Ефимов, А. С. Тычков // Локомотивы. Газомоторное топливо (Проблемы. Решения. Перспективы) : Материалы I Международной научно-практической конференции. Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2016. С. 83-86.
7. Силаев В.А. Особенности и перспективы тяжеловесного движения в волжском регионе / В. А. Силаев, Н. А. Ефимов, А. С. Тычков // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: материалы третьей Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2016. С. 174-182.

Ефимов Николай Александрович, канд. техн. наук, доцент, efimov.nikolai@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный университет путей сообщения,

Тычков Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, al2000@rambler.ru, Россия, Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

IMPROVEMENT OF AXLE BOXES OF LOCOMOTIVES

N.A. Efimov, A.S. Tychkov

The device of articulated-leash axle boxes of locomotives and their disadvantages are considered. To improve the dynamics of the undercarriage of the rolling stock, a new hinge leash device has been developed. A positive effect is achieved by reducing the loads during the radial installation of the wheelset axles while reducing the axial and radial stiffness of the components of the rubber bushings-silent blocks and limiting the working deformation of their ends. Comparative calculations of the stiffness characteristics of the elastic rubber elements of the leashes of the present and proposed axle box assembly have been performed, which are confirmed by the results of verification experiments. It is proposed to use antifricion material fluoroplast for the manufacture of bushings. The new device of the hinged leash will eventually reduce the wear of the ridges of the wheelset bands.

Key words: rolling stock, wheel pairs, axle box, leash, silent block, end washers, stiffness, fluoroplast.

Efimov Nikolay Alexandrovich, candidate of technical sciences, docent, efimov.nikolai@mail.ru, Russia, Samara, Samara State University of Railway Engineering,

Tychkov Alexander Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, al2000@rambler.ru, Russia, Samara, Samara State University of Railway Engineering

УДК 343.148.63

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-519-520

ОБ АВТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ ОБСТОЯТЕЛЬСТВ ДТП

Е.А. Тарасов

В настоящей работе речь идет об аналитической, ситуационной составляющей автотехнической экспертизы, поскольку именно эта часть деятельности эксперта далеко не всегда позволяет оперировать однозначно интерпретированными доводами. Причина в том, что ДТП по сути своей многофакторно, и эксперт может столкнуться с деталями, анализ которых выходит за пределы его компетентности. Приведены объективные количественные и качественные показатели и обстоятельства, которые повлияли на механизм возникновения и развития дорожно-транспортного происшествия. Представлены вопросы, которые могут поставить перед автотехническим экспертом следствие и суд, на которые даются ситуативные ответы, построенные на анализе развития ситуации, моделировании механизма ДТП. Задача эксперта автотехнического профиля — дать ответы на поставленные вопросы, касающиеся ряда объективных количественных и качественных показателей и обстоятельств, которые повлияли на механизм возникновения и развития ДТП. Приведены важные обстоятельства при рассмотрении ДТП в рамках уголовного судопроизводства.

Ключевые слова: автотехническая экспертиза, обстоятельства ДТП, специалист, следствие, дознаватель.

Большое количество ДТП, естественно связанное с расширением автомобильного парка и ростом интенсивности движения, формирует новые вызовы к экспертной работе и проведению автотехнической экспертизы на стадии дознания и следствия. Положения ст.10 ФЗ "О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации" определяют эксперта как аттестованного работника государственного экспертного учреждения, уполномоченного производить судебную экспертизу. Однако, судебная практика показывает, что в отношении результатов автотехнической экспертизы возникают обоснованные возражения сторон, и суды принимают решения о привлечении стороннего специалиста по ст.79 ГПК РФ или ст. 58 УПК РФ. Оговорка о том, что специалист предоставляет суду консультацию "без проведения специальных исследований" (ст.188 ГПК РФ), имеет минимальное процессуальное значение в конкретном судебном заседании, так как специалисту предоставляются заключения экспертизы и другие материалы дела, при этом он может воспользоваться правом заявить о необходимости расширения доступа к информации, и в большинстве случаев суды удовлетворяют такие ходатайства. Ст.57 УПК РФ дает эксперту такие же права, однако запрещает самостоятельно собирать материалы и самостоятельно, без назначения дознавателя или следователя, совершать действия, приводящие к утрате (уничтожению) или потере иных качеств объектов. В ст. 85 УПК РФ указано, что сбором материалов занимаются следователи и дознаватели, которые и передают их эксперту для исследования, и эксперт, если следовать этой логике, не является субъектом сбора доказательств. Кроме того, изучение материалов касается только предмета экспертизы. Однако, сбор образцов для исследования, согласно ч.4 ст 202 УПК РФ, производится экспертом.

Перечисленные процессуальные особенности порождают размытость грани между экспертом и приглашенным в суд специалистом, оставляя за первым право и обязанность проведения исследований, а за вторым — право высказывать авторитетное мнение, учитываемое судом, используя предоставленные материалы и результаты экспертизы. В этой особенности есть крайне важная для избранной темы деталь — проведение исследований предполагает получение обоснованных ответов на поставленные судом вопросы, а данные, полученные в результате исследований, являются объективными и однозначными, отражающими и количественные и качественные характеристики объектов и следов, которые будут рассмотрены следствием.

Предмет исследования и категории вопросов автотехнической экспертизы. Автотехническая экспертиза, проводимая экспертом с квалификацией по специальности "Автомобилестроение" и "Автомобили и автомобильное хозяйство", может относиться к следующим видам:

изучение обстоятельств ДТП;
изучение технического состояния транспортного средства;
изучение следов на месте происшествия и на транспортном средстве (транспортно-трассологическая);
изучение дорожных условий и состояния проезжей части и оборудования дороги в совокупности.

Более широкий круг вопросов рассматривает инженерно-психофизиологическая экспертиза, вопросы которой выходят за рамки компетентности автотехнического эксперта в силу их узкой специфики, но ее результаты учитываются судом наряду с другими данными и заключениями экспертов.

Задача эксперта автотехнического профиля — дать ответы на поставленные вопросы, касающиеся ряда объективных количественных и качественных показателей и обстоятельств, которые повлияли на механизм возникновения и развития ДТП [1]. К объективно измеряемым параметрам можно отнести:

скорость движения и скорость сближения транспортных средств и пешеходов;
расстояния от транспортных средств до препятствий, пешеходов, другого транспорта в определенные фиксированные моменты времени;

взаимное расположение участников ДТП и расположение относительно неподвижных объектов, в том числе разметки и краев проезжей части в определенные моменты времени;

длину, качество отпечатков и характер следов торможения;

размеры и характер следов физического контакта между транспортными средствами и пешеходами, препятствиями;

наличие у транспортных средств неисправностей и индивидуальных особенностей, в том числе отличий от первоначальной, предусмотренной производителем конструкции.

Дознание, следствие и суд могут поставить перед автотехническим экспертом ряд вопросов, на которые даются ситуативные ответы, построенные на анализе развития ситуации, моделировании механизма ДТП [2].

Имелась ли у участников ДТП возможность его предотвращения?

Какие действия участников движения привели к развитию аварийной ситуации?

В какой момент времени и при какой обстановке возникла опасность для участников движения?

Какие действия участников происшествия могли предотвратить его?

Кто из участников движения нарушил требования ПДД, какое допущено нарушение?

Имеется ли причинно-следственная связь между действиями/бездействием водителя и возникшей аварийной ситуацией - наездом, столкновением, иными обстоятельствами, приведшими к нанесению вреда здоровью, смерти пострадавших, ущербу для имущества?

Какие меры для предотвращения ДТП могли быть приняты водителем с учетом имеющихся объективных количественных и качественных критериев, полученных методом измерения и расчета?

Какие причины и условия способствовали возникновению опасности и развитию ДТП?

Вторая группа вопросов может быть охарактеризована как аналитическая, ситуационная, предполагающая, что в определенных конкретных обстоятельствах возможно возникновение версий развития событий, неоднозначных выводов, несоответствия мнений судебного автотехнического эксперта и вызванного в суд специалиста.

Аналитическая составляющая в ситуационном моделировании ДТП. Аналитическая составляющая автотехнической экспертизы, связанная с ответами на вторую группу вопросов, строится на использовании объективных измеримых данных для построения динамической картины развития событий. Особенности работы оперативно-следственных групп и организации осмотра места происшествия таковы, что в распоряжении эксперта оказываются далеко не полные материалы, собранные без учета специфики будущих исследований. Приобщение предметов и следов к вещественным доказательствам требует установления причинно-следственной связи между материальными объектами и обстоятельствами, поэтому полнота и качество исследования материалов создают базу для обоснованного использования результатов в построении картины развития ДТП. Практически это достигается применением в работе автотехнического эксперта методов криминалистического исследования и тактики криминалистического расследования.

Обоснование криминалистических методов важные для автотехнической экспертизы. Обоснование применения методов криминалистики состоит в том, что экспертные подходы и тактика расследования удовлетворяют основным требованиям к сбору и анализу материалов для получения объективных результатов, обладающих рядом признаков:

измеримость доступными инструментами и возможность объективного описания с выделением основных свойств и признаков;

непротиворечивость и однозначность ответов на вопросы следствия применительно к конкретному эпизоду и материальным следам (объектам);

возможность построения причинно-следственных связей, подтверждающих или опровергающих версии развития событий;

возможность использования для моделирования картины ДТП с привязкой к месту, моментам времени, ситуативным особенностям;

возможность установления и подтверждения материальной связи с другими объектами, участниками, транспортными средствами.

Криминалистическая тактика предполагает построение расследования по определенному алгоритму, позволяющему связать эпизоды и относящиеся к ним материальные следы и свидетельства в общую картину [3]. Это вполне применимо к моделированию ДТП, но с неизбежной поправкой на скоротечность событий и необходимость подтверждения причинно-следственной связи между состоянием транспортного средства и кульминационным моментом происшествия.

Применимость криминалистических подходов в расследовании обстоятельств ДТП. Автотехническая экспертиза с анализом дорожной обстановки и ситуационным моделированием картины событий ставит перед специалистом сложную профессиональную задачу — использовать результаты объективных измерений, инструментального исследования и расчетов для построения связанной, логично обоснованной, привязанной к месту и времени картины событий с возможностью разделения на этапы, выявления кульминационного момента, причинно-следственной связи с итогами в виде травмирования и гибели людей, нанесения ущерба имуществу.

Следует учитывать, что ДТП, в котором был нанесен тяжкий вред здоровью или причинена смерть человеку, рассматривается в рамках уголовного производства, где возникает несколько важных обстоятельств.

Криминалистическая тактика в основе направлена на выявление следов и признаков умышленного действия, таковы реалии следствия.

В отличие от преступных деяний с мотивом, где нанесение вреда (в общем понимании) обусловлено первичным намерением субъекта, в ДТП отсутствует намерение, направленность, пусть и косвенная, которая встраивается в систему криминалистических версий и доказательств.

ДТП скоротечно, многофазно, построение структуры, последовательности и связи событий требует точного определения временных и пространственных рамок каждого условного этапа.

В картине ДТП отсутствует эпизодичность — все этапы связаны между собой прямыми связями, при этом автотехнический эксперт в процессе моделирования ситуации не должен пренебрегать доказательством причинности и связанности, рассматривать картину событий как изначально детерминированную самим фактом ДТП.

Напомним, что в настоящей работе речь идет именно об аналитической, ситуационной составляющей автотехнической экспертизы, поскольку именно эта часть деятельности эксперта далеко не всегда позволяет оперировать однозначно интерпретированными доводами. Причина в том, что ДТП по сути своей многофакторно, и эксперт может столкнуться с деталями, анализ которых выходит за пределы его компетентности. Моделирование в таком случае приобретает черты построения следственной версии, что противоречит сути экспертной деятельности, но фактически, при рассмотрении конкретной ситуации, мнение специалиста оказывается единственным научно и квалифицированно обоснованным.

Практические приемы криминалистики в автотехнической экспертизе. Практика дознания и расследования ДТП показывает, что существует два варианта взаимодействия автотехнического эксперта (специалиста) со следователем и судом [4]. Первый вариант — следователь сам моделирует картину, ставя перед экспертом конкретные, ситуативно обоснованные вопросы, на которые могут быть даны однозначные ответы на основании исследований и расчетов. Второй вариант — следователь моделирует картину происшествия, процессуально прибегая к консультации специалиста, способного выявить значимые детали и сформулировать вопросы к автотехническому эксперту, учитывая требования объективности и возможность проведения исследований. Подготовка следователя (дознателя) далеко не всегда позволяет ему использовать специальные знания, кроме того, даже при их наличии, следователь обязан обосновать свои выводы, чего он и добивается, назначая автотехническую экспертизу. Впоследствии, уже в суде вторая сторона привлекает специалиста для анализа, и выясняется, что имеется иной вариант интерпретации событий.

С практической точки зрения картина взаимодействия автотехнического эксперта с дознанием и следствием должна выглядеть как полноценное участие специалиста на всех этапах с применением проверенных элементов криминалистической практики [5].

Первый этап — обследование и осмотр места происшествия с фиксацией материальных следов и признаков, описывающих обстановку. Напомним, что эксперт не является субъектом сбора вещественных доказательств, но, присутствуя при осмотре места происшествия, он способен выявить детали, материальные следы и признаки, имеющие значение для дальнейшего следствия.

Составление схемы ДТП. На схеме следует подробно указать не только взаимное расположение транспортных средств с привязкой к краям и середине проезжей части. Имеет значение указание более масштабных ориентиров — стационарных элементов дорожной обстановки, разметки, номеров и признаков строений, расстояние и направление от явных точек привязки, например, углов домов, краев бордюров, границ обочины.

Измерение следов. След торможения остается одним из способов определения скорости движения и условного начала реакции водителя на изменение дорожной обстановки. При моделировании картины для следствия и суда имеет значение не только его длина, интенсивность и качество. Необходимо в описании указать точку начала торможения с привязкой к неизменным стационарным объектам — бордюрам, люкам, углам строений, построив схему методом триангуляции, позволяющим точно определить расстояния по трем точкам и правилу треугольника.

Фотографирование. Начинается с общих планов, при этом важно выстроить съемку так, чтобы прослеживалась последовательность "приближения" и формировалось трехмерное представление о картине на месте происшествия. Общий план должен захватить элементы привязки, указанные на схеме, создать представление о масштабности. При переходе к детальному плану необходимо применять линейку и стрелки, точно ориентированные на следы и детали, имеющие значение при исследовании и моделировании. Зафиксированный след должен быть привязан к деталям обстановки, если это не удастся сделать методом фотографирования, привязка должна быть внесена в протокол осмотра места ДТП. Динамичная картина происшествия требует указания направлений на ориентиры для определения вероятного направления движения, что достигается применением уже упомянутого метода триангуляции, обозначения расстояния до трех выбранных стационарных точек.

Описание следов физического контакта. Автотехнический эксперт располагает знаниями, достаточными для первичной оценки следа по характеру и признакам, например, блокирующего или скользящего столкновения. Особенность следовой картины на транспортных средствах состоит в том, что царапины и вмятины образуются в результате сложного движения элементов конструкции. Если автомобиль "клюнул" при торможении, то после удара о препятствие его подвеска частично компенсирует опускание носовой части, и след на ней будет иметь комбинированный характер, признаки направленного вверх смещения. Критически важно зафиксировать признаки комбинированного слеодообразования, которые при ситуационном моделировании будут указывать на особенности движения транспортных средств и их отдельных частей. Идеальным можно было бы назвать описание следов, в котором имеется не только указание на характер слеодообразования, но и привязка к схеме, и указание на взаимное расположение поверхностных и блокирующих повреждений. Впоследствии, при моделировании ситуации, автотехнический эксперт сможет обосновать свои утверждения о скорости и направлении движения автомобилей, опираясь на полную картину, отражающую все особенности и признаки формирования воздействий.

Сбор отпечатков ЛКП на участках физического контакта. Результаты исследования отслоений и парных следов в зонах контакта дадут возможность доказать факт столкновения с другими автомобилями, препятствиями и пешеходами.

Следует отметить, что при необходимости на последующих этапах могут применяться расчетные методы анализа деформации для определения вероятной силы взаимодействия. Назначение материаловедческой экспертизы позволит обосновать расчеты объективными данными, имеющими научную основу.

Второй этап. Повторное обследование автомобиля для выявления следов и составления следовой картины в салоне, внутренних полостях, на силовых элементах конструкции. Это область, в которой знания автотехнического эксперта могут проявиться в полной мере, так как основа его подготовки — специальность "Автомобилестроение". При изучении скрытых следов и повреждений, доступ к которым был ограничен и невозможен при осмотре непосредственно на месте ДТП, следует применить описанные выше методы пространственной привязки признаков деформации. Из криминалистических приемов следует выделить методы трасологической экспертизы, позволяющей выявить и зафиксировать признаки движения тел (частей тел) внутри салона по отпечаткам на отделке и органах управления.

Большое значение приобретает сопоставление результатов судебно-медицинской, трасологической и автотехнической экспертизы, позволяющее установить причинно-следственные связи и подтвердить парность следовых отпечатков. При осмотре салона эксперту следует уделить особое внимание состоянию ремней безопасности, конструктивно предусмотренному и фактическому положению сиденья водителя и переднего пассажира. Описание должно содержать подробное указание расположения следов относительно сиденья водителя по поясам — область до поверхности сиденья, область от поверхности до середины спинки, область до верхней части подголовника. Эксперту следует обратить внимание на наличие в отделке и обустройстве салона предметов, которые могли оставить характерные следы на частях тела водителя.

При осмотре силовых элементов конструкции автотехнический эксперт может обнаружить следы деформирующих воздействий, которые впоследствии сопоставляются с поверхностными следами на кузове. Это формирует полноценную и обоснованную картину воздействия по направлению и вероятной интенсивности, что послужит логичным аргументом при моделировании характера движения. Осмотр и фиксация следов на нижней части транспортного средства позволят выявить признаки с препятствиями, обосновать или опровергнуть версию наезда как первого фактора развития ДТП.

Третий этап. Обобщение результатов в процессе следствия и участия эксперта в судебном заседании строится на анализе данных и выводов экспертизы. Ситуационное моделирование может и должно быть доказательным, чему способствует применение криминалистических приемов и подходов. Условия для успешного применения методики моделирования обстоятельств и механизма ДТП формируются на предшествующих стадиях взаимодействия эксперта со следствием. Основные принципы таковы:

никакие выводы не могут представляться как очевидные или детерминированные самим фактом ДТП, если они не имеют материального следового подтверждения, зафиксированного как результат осмотра, измерения, расчета, исследования признанным научным методом;

в основе предоставленных расчетов могут лежать только данные, полученные в результате измерения, приборного и инструментального анализа, взятия проб и отпечатков, должным образом зафиксированных в протоколах и схемах;

при вероятности выхода за пределы компетентности автотехнический эксперт может и должен обращаться к результатам смежных экспертиз, если речь идет о необходимости построения картины событий с большим количеством факторов;

любое утверждение, сделанное в рамках ситуационного моделирования ДТП, должно содержать в основе данные и результаты исследования, расчета, проведенного в соответствии с общепринятой утвержденной методикой.

Картина, построенная в результате ситуационного моделирования, должна содержать отсылки к данным осмотров и исследований, а в случаях, когда имеющихся данных недостаточно, автотехнический эксперт при ответе на вопросы о нарушении ПДД или возможности предотвращения ДТП должен сообщить следствию и суду, что вывод неоднозначен, возможны варианты. Из этого следует необходимость проведения повторного анализа с расширением доступа к материалам дела [7].

Из криминалистической тактики на вооружение автотехнической экспертизы при расследовании обстоятельств ДТП следует ориентироваться на приемы построения картины событий с доказательством причинности событий и доказанности связи между следами и вызвавшими их воздействиями. Это порождает необходимость использования практических приемов, позволяющих собрать следовой материал с качеством, необходимым и достаточным для включения объектов в базу вещественных доказательств. Повторимся: речь идет об особенностях автотехнической экспертизы в части построения картины развития механизма происшествия. Последовательный сбор следов с фиксацией места и времени, описанием условий и детализированным обоснованием связей между предметами и обстоятельствами делает утверждения эксперта при моделировании обоснованными и не оставляющими возможности интерпретировать фактические детали в ином направлении.

Список литературы

1. Волынский А.Ф. Судебно-экспертная и криминалистическая виды деятельности: общее и особенное // Эксперт-криминалист. 2013. № 2. С. 18-20.
2. Балакин В.Д. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Омск: СибАДИ, 2010. 136 с.
3. Евтюков С.А., Васильев, Я. В. Экспертиза ДТП: методы и технологии. СПб.: СПбГАСУ, 2012. 310 с.
4. Волынский А.Ф. Судебно-экспертная и криминалистическая виды деятельности: общее и особенное // Эксперт-криминалист. 2013. № 2. С. 18-20.
5. Россинская Е.Р., Галяшина Е.И., Зинин А.М. Теория судебной экспертизы (Судебная экспертология). Учебник. 2-е издание. М.: Норма, 2016. 368 с.
6. Россинская Е.Р. Судебная экспертиза в гражданском, арбитражном, административном и уголовном процессе. М.: Норма, 2006. С. 95.

7. Тарасов Е.А. Особенности и тактика назначения судебной автотехнической экспертизы с учетом необходимости ситуационного моделирования обстоятельств возникновения ДТП // Транспортное право. 2020. № 2. С. 18-28.

Тарасов Евгений Александрович, канд. техн. наук, доцент, 382652@mail.ru, Россия, Воронеж, Воронежский государственный технический университет

ON THE CAR TECHNICAL EXAMINATION OF THE CIRCUMSTANCES OF THE ACCIDENT

E.A. Tarasov

In this paper, we are talking about the analytical, situational component of automotive expertise, since it is this part of the expert's activity that does not always allow to operate with unambiguously interpreted arguments. The reason is that an accident is inherently multifactorial, and an expert may encounter details whose analysis is beyond his competence. Objective quantitative and qualitative indicators and circumstances that influenced the mechanism of occurrence and development of a traffic accident are presented. The questions that the investigation and the court can pose to an automotive expert are presented, to which situational answers are given based on the analysis of the development of the situation, modeling the mechanism of an accident. The task of an automotive expert is to provide answers to the questions raised regarding a number of objective quantitative and qualitative indicators and circumstances that influenced the mechanism of occurrence and development of an accident. Important circumstances are given when considering an accident in the framework of criminal proceedings.

Key words: car technical expertise; circumstances of the accident; specialist; investigation; investigator.

Tarasov Evgeny Alexandrovich, candidate of technical sciences, docent, 382652@mail.ru, Russia, Voronezh, Voronezh State Technical University

УДК 629.113

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-523-524

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Э. А. Оганян

Работа посвящена анализу подходов к математическому моделированию электрических силовых установок автотранспортных средств. Приведена классификация математических моделей, применяемых при исследовании основных компонентов тягового электропривода. Рассмотрены программные комплексы, применяемые для математического моделирования, исследования и расчета электрических силовых установок автотранспортных средств.

Ключевые слова: электрические силовые установки, математическое моделирование, электропривод, классификация математических моделей, программное обеспечение.

Автомобили, приводимые в движение электрической силовой установкой, становятся все более популярными в связи с растущим спросом на энергоэффективные и экологически чистые автотранспортные средства (АТС). Разработка новых и модернизация существующих конструкций АТС требует применения современных подходов к проектированию, одним из которых является использование математических моделей, описывающих комплекс взаимосвязанных процессов различной физической природы, характерных для АТС с электрическим приводом.

Моделирование представляет собой исследование объектов познания на их моделях, построение и изучение моделей реально существующих предметов, явлений и конструируемых объектов. При этом математическое моделирование является одним из основных методов современных научных исследований [1].

Модель должна достаточно полно описывать особенности и сущность исследуемого объекта, при этом отражая заданные свойства системы с погрешностью не выше допустимой, а также должна представлять объект в упрощенном виде и обеспечивать возможность перехода от модельной информации к реальности [2].

Математическое моделирование значительно расширяет возможности исследователей и конструкторов при создании новых и модернизации существующих конструкций АТС, позволяя существенно сократить временные и материальные затраты [3].

В тоже время вопросам классификации и анализа применяемых математических моделей электрических силовых установок АТС уделяется недостаточно внимания.

В этой связи целью данной статьи является анализ существующих подходов к математическому моделированию электрических силовых установок автотранспортных средств, разработка классификации математических моделей, описывающих поведение тягового электропривода АТС, а также анализ программных комплексов, применяемых для математического моделирования, исследования и расчета электрических силовых установок автотранспортных средств.

Математическому моделированию автотранспортных средств с электрическим приводом посвящены труды отечественных и зарубежных ученых, среди них: С.Б. Аджиманбетов, Д.И. Гурьянов, А.В. Ионесян, Т.А. Козлова, О.Б. Мокин, Б.К.Оспанбеков, Н.И. Слипченко, В.И. Строганов, Ronald K. Jurgen, Mike Westbrook, Mehrdad Ehsani, Ali Emadi, Jimin Gao, Iqbal Husain, Granfranco Pistoia, D. Ragone и другие.

При построении математических моделей процессов функционирования систем электрической силовой установки АТС можно выделить следующие основные подходы:

- непрерывно-детерминированный (рассматривается работа электрической силовой установки во времени при изменении нагрузки);
- дискретно-детерминированный (реализуется с помощью разделения времени на дискретные интервалы);
- дискретно-стохастический (предполагает использование теории вероятностей и математической статистики, позволяет учесть случайные отклонения эксплуатационных параметров) [4].

Наиболее распространенным подходом при математическом моделировании АТС с электрическим приводом является непрерывно-детерминированный. Особенностью подхода является применение в качестве математических моделей дифференциальных уравнений описывающих движение АТС и функционирование систем привода (АКБ, электродвигателя, трансмиссии).

Математические соотношения для детерминированных систем в общем виде записываются как:

$$y' = f(y, t); y(t_0) = y_0,$$

где $y' = \frac{dy}{dt}$, $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ и $f = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ – n-мерные векторы; $f(y, t)$ – вектор-функция, которая определена на некотором $(n + 1)$ – мерном (y, t) множестве и является непрерывной.

Использование данного подхода позволяет формализовать процесс функционирования непрерывно-детерминированных систем и оценить их основные характеристики, применяя аналитический или имитационный подход, реализованный в виде программного комплекса для моделирования электрических силовых установок автотранспортных средств.

К непрерывно-детерминированному подходу также относится метод графов связей, который целесообразно использовать при построении математических моделей электромобилей.

Метод графов связей относится к группе топологических методов, т. е. методов, использующих графическое представление исследуемого объекта. Он позволяет на единой методологической базе моделировать объекты, содержащие элементы различной физической природы – электрические, механические, гидравлические, пневматические и т. д [5].

Данный метод является удобным инструментом для получения моделей сложных динамических систем. Метод графов связей основан на представлении о том, что любые физические процессы состоят из элементарных актов преобразования энергии [6]. Граф связей представляет собой совокупность элементов, соответствующих основным типам преобразования энергии и изображаемых в качестве вершин графа, соединенных связями (дугами графа). Каждый элемент графа характеризуется уравнением или системой уравнений, включающих переменные, относящиеся к его связям [7].

Дискретно-детерминированный подход предусматривает разбиение времени и пространства на дискретные интервалы, чтобы анализировать и прогнозировать поведение электрической силовой установки АТС в каждом из этих интервалов. Подход чаще всего применяется для описания широкого класса процессов функционирования реальных объектов автоматизированных систем управления.

Одной из главных задач при математическом моделировании электрической силовой установки АТС является описание движения и потребления энергии в реальных условиях эксплуатации. Дискретно-стохастический подход позволяет учесть влияние таких факторов, как параметры окружающей среды, дорожные условия и поведение водителя. Вместо описания в виде детерминированных функций и уравнений, дискретно-стохастический подход позволяет учесть случайные флуктуации и вариации, которые могут возникать при реальной эксплуатации АТС.

На основе проведенного анализа работ, посвященных математическому моделированию электрических силовых установок автотранспортных средств, было выделено четыре ключевых признака [8], по которым можно классифицировать математические модели тягового электропривода АТС (табл. 1).

Таблица 1

Классификация математических моделей

№ п/п	Признаки	Типы математических моделей		
1	Исходный принцип математического описания	1.1. Теоретические	1.2. Эмпирические	1.3. Смешанного типа
2	Учет динамики процесса функционирования	2.1. Динамические	2.2. Квазидинамические	2.3. Статические
3	Уровень абстрагирования (детализации)	3.1. Микромоделли	3.2. Макромодели	3.3. Метамоделли
4	Уровень функционального описания силовой установки	4.1. Модели рабочих процессов: 4.1.1. Механических 4.1.2. Электромагнитных 4.1.3. Электромеханических 4.1.4. Тепловых	4.2. Модели функционирования систем силовой установки: 4.2.1. АКБ 4.2.2. Электродвигатель 4.2.3. Трансмиссия 4.2.4. Система управления	

Основной целью описания электрической силовой установки автотранспортного средства является достижение требуемых (в соответствии с техническим заданием) мощностных, экономических, массогабаритных показателей, а также показателей надежности и долговечности.

С точки зрения исходного принципа математического описания модели выделяют три типа моделей: теоретические, эмпирические, смешанного типа.

Теоретические модели электрической силовой установки автотранспортных средств основываются на фундаментальных законах физики и электротехники. Эти модели описывают взаимодействие между различными компонентами тягового электропривода, такими как электродвигатель, аккумуляторная батарея (АКБ) и система управления. Данная модель обычно используются на стадии проектирования для прогнозирования характеристик АТС.

В процессе эксплуатации многофакторные взаимодействия и неопределенности могут оказывать влияние на функционирование электромобиля. В данном случае для математического описания влияния переменных факторов (входных переменных) на функцию отклика используются эмпирические (статистические) модели, которые, как правило, получены на основании экспериментов, выполненных на натурном объекте.

Также, существуют модели смешанного типа, которые сочетают в себе как теоретические, так и эмпирические подходы.

В зависимости от учета динамики процесса функционирования можно выделить следующие типы математических моделей: динамические, квазидинамические и статические.

Динамические (имитационные) модели тягового электропривода описывают его поведение во времени. Они учитывают влияние различных факторов, таких как: масса автомобиля, сила трения, аэродинамические и электрические параметры. Такие модели позволяют исследовать электрические силовые установки автотранспортных средств при различных режимах работы.

Квазидинамические – это модели, в которых временной интервал действия модели разбивается на периоды, для каждого из которых строится статическая модель.

Статические модели не учитывают изменение параметров электрической силовой установки во времени.

С точки зрения уровня абстрагирования выделяют следующие типы математических моделей:

- микромодели, представляют собой детальные математические модели с наименьшей степенью абстракции, которые описывают поведение различных компонентов электрической силовой установки внутри отдельных частей системы;

- макромодели, являются более обобщенными аналитическими моделями, которые описывают работу электропривода на основе более высокоуровневых параметров. В таких моделях учитывается взаимодействие различных систем и компонентов электромобиля, таких как АКБ, электродвигатель, трансмиссия, система рекуперативного торможения. Эти модели позволяют получить общую оценку производительности и эффективности силовой установки на основе входных параметров;

- метамодели, являются более абстрактными моделями, в которых описываются процессы между системой и внешней средой или между отдельными системами.

В зависимости от уровня функционального описания силовой установки математические модели подразделяют на два типа: модели рабочего процесса и модели функционирования систем силовой установки.

При моделировании рабочего процесса электрической силовой установки автотранспортного средства основными задачами является математическое описание процесса преобразования электрической энергии в механическую, а также и описание электромагнитных и тепловых процессов в приводе.

Модели функционирования систем силовой установки описывают работу всех составляющих системы, таких как АКБ, электродвигатель, трансмиссия, система управления. С помощью этих моделей можно установить закономерности влияния различных конструктивных и эксплуатационных параметров на работу тягового электропривода.

Кроме рассмотренных математических моделей для имитационного моделирования электрических силовых установок автотранспортных средств в настоящее время используются следующие программные комплексы: Matlab Simulink, Simcenter Amesim, SimInTech, REPEAT.

Структура имитационной модели электрической силовой установки автотранспортного средства включает в себя следующие компоненты:

1. Модель, которая описывает динамику продольного движения электромобиля.
2. Модель, которая описывает динамику разряда и заряда тяговой АКБ и динамику тягового электродвигателя.
3. Модель, которая имитирует поведение водителя АТС [9-10].

Одним из наиболее популярных программных комплексов является MathWorks Matlab Simulink. Simulink позволяет моделировать и анализировать работу систем, выходные параметры которых меняются с течением времени. Работа в Simulink заключается в создании блочных диаграмм, и вводе временных математических зависимостей между входами, состояниями и выходами системы [11].

Блочные диаграммы Simulink определяют временные связи между сигналами и переменными состояниями. Решение блочной диаграммы получается из оценки этих взаимосвязей в течение времени. Сигналы представляют собой количественные характеристики, которые меняются с течением времени и которые определены для каждого шага времени между началом и концом течения программы. Взаимосвязи между сигналами и переменными состояниями определяются системами уравнений, которые лежат в основе блоков [12].

Simcenter Amesim – это программное обеспечение, предназначенное для моделирования сложных динамических систем. Программный пакет представляет собой набор инструментов, используемых для моделирования, анализа и прогнозирования производительности систем мехатроники. Модели описываются с помощью нелинейных зависимых от времени аналитических уравнений, которые представляют гидравлическое, пневматическое, тепловое, электрическое или механическое поведение системы.

Для разработки имитационной модели системы применяется набор библиотек, включающих заранее определенные компоненты. Библиотеки Simcenter Amesim реализованы на языке программирования C [13].

SimInTech - отечественный программный комплекс который обладает широкими возможностями для организации вычислений, связанных с решением алгебраических и дифференциальных уравнений.

Математические модели в SimInTech создаются посредством функционально-блочного программирования при помощи блоков, которые содержатся в различных библиотеках. Для создания математических моделей SimInTech содержит библиотеки: теплогидравлики; электротехники; электрических приводов; силовых гидравлических/пневматических машин; механических взаимодействий. Программный комплекс написан на языке программирования Pascal [14].

Веб-приложение REPEAT – отечественное программное обеспечение, предназначенное для предоставления цифровых сервисов симуляционного моделирования, функционирующее на технологической платформе с микросервисной архитектурой. Основным преимуществом программного обеспечения являются: облачная инфраструктура; импортнезависимость; интеграция со сторонним ПО [15].

Программные комплексы для имитационного моделирования электрических силовых установок являются неотъемлемой частью современного процесса создания АТС. Они позволяют инженерам сокращать время и ресурсы, необходимые для создания прототипов, и учитывать множество эксплуатационных и конструктивных параметров, влияющих на общую производительность электрической силовой установки.

Проведенный анализ математических моделей электрических силовых установок АТС позволяет сделать следующие выводы:

1. Для математического моделирования электрической силовой установки АТС целесообразно использовать непрерывно-детерминированный подход, так как он обеспечивает наиболее полное математическое описание функционирования тягового электропривода во времени с учетом изменяющихся условий эксплуатации.

2. Рассмотренные выше типы математических моделей в основном используются на стадии проектирования для достижения необходимых, в соответствии с техническим заданием, эксплуатационных свойств, а именно: мощности тягового электродвигателя, скорости движения АТС, запаса хода.

3. В современных условиях для имитационного моделирования тягового электропривода АТС целесообразно использовать отечественные программные комплексы, которые должны обладать высокой производительностью, гибкостью, мощным инструментом анализа и возможностью интеграции.

4. При построении математической модели электрической силовой установки АТС целесообразно использовать аппарат графов связей, который позволит на единой методологической основе моделировать механические, электрические, информационные и другие компоненты АТС с электрическим приводом.

Список литературы

1. Строганов В.И., Козловский В.Н., Сорокин А.Г., Мифтахова Л.Х. Математическое моделирование основных процессов электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 7. С. 129-132.

2. Эльберг М.С., Цыганков Н.С. Имитационное моделирование: учеб. пособие. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. 128 с.

3. Дьяков И.Ф., Дьяков В.И. Математическое моделирование процесса проектирования транспортных средств // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2022. № 1(97). С. 36-45.

4. Строганов В.И., Сидоров К.М. Математическое моделирование основных компонентов силовых установок электромобилей и автомобилей с КЭУ: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" (специализация "Автомобили и тракторы"). Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2015. 100 с.

5. Применение теории графов связей в технике; под ред. Д. Корнопа и Р. Розенберга. М.: Мир, 1974. 95 с.

6. Груничев А.В., Рыбаков Г.П., Хмелев Р.Н. Применение графов связей при разработке математического описания автомобиля с электрической силовой установкой // Автомобили, транспортные системы и процессы: настоящее, прошлое и будущее: Сборник статей 3-й Международной научно-технической конференции, Курск, 21 мая 2021 года. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 111-114.

7. Воронин А.В. Моделирование мехатронных систем: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 137 с.

8. Хмелев Р.Н. Разработка классификации математических моделей поршневых двигателей внутреннего сгорания // Вестник ТулГУ. Серия «Автомобильный транспорт». Вып. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 80-85.

9. Козлова Т.А. Методика поиска рациональных конструктивных параметров тягового привода электромобиля // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №5 (2016) [Электронный ресурс] URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/86TVN516.pdf> (дата обращения: 10.02.2024).

10. Астафьев Е.А., Афанасьев А.Ю. Моделирование электропривода электромобиля с возможностью рекуперации электрической энергии // Развитие концепции современного образования в рамках научно-технического прогресса: Сборник научных трудов. Казань: ООО "СитИвент", 2020. С. 121-130.

11. Файзуллоев Н.Л. Разработка модели и измерение параметров электропривода электроболида formula student electric с применением MATLAB SIMULINK // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Тексты докладов участников Международной молодёжной научной конференции, посвященной 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, 10–11 ноября 2021 года. Том VI. Казань: Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2021. С. 289-295.

12. MathWorks. Simulink. Официальный сайт [Электронный ресурс] URL: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> (дата обращения: 20.01.2024).

13. Siemens. Инженерное программное обеспечение [Электронный ресурс] URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US> (дата обращения: 20.01.2024).

14. Среда динамического моделирования SimInTech [Электронный ресурс] URL: <https://simintech.ru> (дата обращения: 20.01.2024).

15. Программное обеспечение REPEAT [Электронный ресурс] URL: <https://repeatlab.ru> (дата обращения: 19.01.2024).

Оганян Эдуард Артурович, аспирант, edikoganian@gmail.com, Россия, Тула, Тульский государственный университет

ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF ELECTRIC POWER PLANTS OF CARS

The work is devoted to the analysis of approaches to the mathematical modeling of electric power plants of motor vehicles. The classification of mathematical models used in the study of the main components of a traction electric drive is given. Software complexes used for mathematical modeling, research and calculation of electric power plants of motor vehicles are considered.

Key words: electric power plants, mathematical modeling, electric drives, classification of mathematical models, software engineering.

Oganyan Eduard Arturovich, postgraduate, edikoganian@gmail.com, Russia, Tula, Tula State University

УДК 625.768.1; 625.768.5

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-527-528

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЩЕТОЧНОГО УСТРОЙСТВА ПОДМЕТАЛЬНО-УБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

А.В. Кречко, В.М. Лисовенко, М.С. Алтунина, В.В. Зубов

В статье определены направления достижения эффективности рабочего процесса щеточного устройства подметально-уборочных машин. Предложено увеличить линейную скорость свободного конца щетки - радиальным внедрением стержня - стопора (ролика) во вращающийся щеточный венец. Для проверки достоверности предложенного технического решения в статье сделана попытка определения линейной скорости свободного конца деформированного ворса после его высвобождения. При этом решены задачи по определению зависимости потенциальной энергии деформации ворса от величины прогиба и линейной скорости разгибающегося ворса. Приведены результаты определения скорости свободного конца стержня для щеток с металлическим и полипропиленовым ворсом.

Ключевые слова: щетка (щеточное устройство), стопор, ворс, изгиб (прогиб), стержень, линейная скорость, частота вращения щетки.

В настоящее время трудно себе представить чистоту улиц и тротуаров городов и поселков без коммунальных машин. Актуальность повышения эффективности эксплуатации специальных автомобилей и технических средств коммунального комплекса, на протяжении последних лет не вызывает сомнений, что подтверждается целым рядом публикаций [1-9], посвященных рассматриваемой проблеме.

Особое место в парке коммунальной техники занимают щеточные подметально-уборочные машины, эффективность работы которых зависит от процесса силового взаимодействия ворса щетки с дорожным покрытием.

Если определить эффективность рабочего процесса как увеличение сил, действующих на частицы загрязнений дорожного полотна, то для достижения этого эффекта выделяются два направления. Первое – конструктивная проработка рабочего органа подметальной машины (механические свойства ворса, размеры щетки и др.). Второе – увеличение скорости вращения щетки, которое при данной её конструкции однозначно определяет линейную скорость свободного конца щетки [10-17].

Однако, линейную скорость свободного конца щетки можно увеличить и другим способом - радиальным внедрением стержня - стопора (ролика) во вращающийся щетинный венец. Стопор, останавливая вращение конца ворса, способствует его деформации изгиба и тем самым обеспечивает накопление потенциальной энергии, которая после высвобождения ворса от стопора, переходит в кинетическую, что, в свою очередь, обеспечивает дополнительную ударную обработку ворсовой поверхностью дорожного покрытия [18]. Рассмотрим этот процесс подробнее (рис. а).

При вращении щетки ворс 3, достигая стопора 6 (положение $A'C$), останавливается в точке C , а в точке A' продолжает вращаться вместе с диском 2, в котором он закреплен. При этом ворс изгибается (деформируется). В положении AC ворс достигает максимального изгиба, после чего его конец в точке C освобождается от стопора и ворс начинает быстро выпрямляться до положения AB .

Для проверки достоверности предложенного технического решения в статье сделана попытка определения линейной скорости свободного конца деформированного ворса после его высвобождения. При этом необходимо было решить задачи по определению зависимости потенциальной энергии деформации ворса от величины прогиба и линейной скорости разгибающегося ворса.

На данном этапе этого исследования использовалась теория чистого плоского изгиба консольного стержня (балки) при малых деформациях.

Если представить конечное положение ворса AB за начальное, то положение ворса AC является результатом воздействия стопора на свободный конец ворса с определенной силой. Такое представление взаимодействия вращающегося ворса со стопором можно интерпретировать как плоский чистый изгиб консольно закрепленного стержня AB под действием сосредоточенной силы P , приложенной к его концу (рис. б). Такая схематизация позволяет использовать известные зависимости упругого изгиба при условии, что величина прогиба ворса v будет не больше (не более $1/3$ длины ворса l).

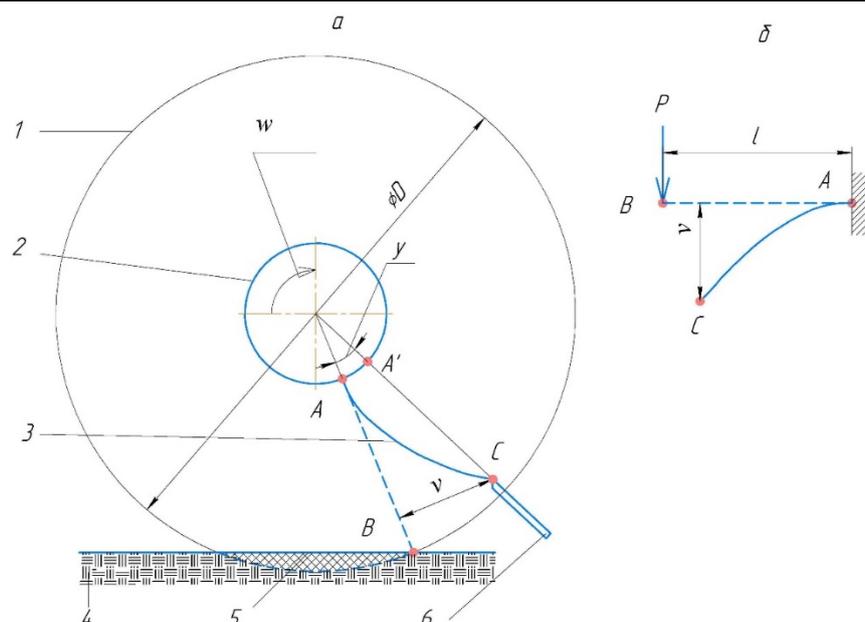


Схема взаимодействия ворса щетки со стопором (а) и расчетная схема деформации консольного стержня (б): 1 - щеточный венец; 2 - диск щетки; 3 - ворс щетки; 4 - дорожное покрытие; 5 - слой очистки; 6 - стопор

Предполагая, что деформации малы для потенциальной энергии деформаций U используем выражение [19],

$$U = \int_0^l \frac{M_x^2 dx}{2EI_c} \quad (1)$$

где M_x - изгибающий момент, Н·м; E - модуль упругости материала стержня (ворса), Па; I_c - момент инерции поперечного сечения стержня (ворса), м⁴.

Уравнение изгибающего момента в произвольном сечении, расположенном на расстоянии x от защемленного конца стержня

$$M_x = Pl - P_x \cdot x \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1) и интегрируя, получим

$$U = \frac{P^2 \cdot l^3}{6EI_c} \quad (3)$$

Для определения силы P воспользуемся уравнением изогнутой оси балки [20]

$$v = \frac{P(x-l)^3}{6EI_c} - \frac{Pl^2(x-l)}{2EI_c} + \frac{Pl^3}{3EI_c}, \quad (4)$$

где v - величина прогиба, м.

Подставляя $x=l$ из (4) определяем прогиб свободного конца стержня

$$v = \frac{Pl^3}{3EI_c} \quad (5)$$

Решая (5) относительно P , получаем зависимость действующей силы от величины прогиба

$$P = \frac{3vEI_c}{l^3} \quad (6)$$

Подставляя (6) в (3), получим зависимость потенциальной энергии стержня (ворса) U от величины прогиба v свободного конца стержня (ворса)

$$U = \frac{3}{2} EI_c \frac{v^2}{l^3} \quad (7)$$

После прекращения действия изгибающей силы P стержень (ворс) разгибается, и накопленная потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию.

Если представить разгибающийся ворс как стержень, вращающийся относительно точки A , то его кинетическую энергию можно определить по формуле

$$K = \frac{I\omega^2}{2}, \quad (8)$$

где I - момент инерции стержня, относительно оси вращения, проходящей через его конец (точка A), м⁴; ω - угловая скорость вращения стержня, рад/с.

Для нахождения момента инерции I стержня относительно оси, проходящей через его конец, воспользуемся теоремой о параллельном переносе осей (теорема Штейнера)

$$I = I_0 + m \left(\frac{x}{2} \right)^2 = \frac{ml^2}{12} + m \left(\frac{l}{2} \right)^2 = \frac{ml^2}{3}, \quad (9)$$

где m - масса стержня, кг.

Угловую скорость стержня выразим через линейную скорость свободного конца стержня v

$$\omega = \frac{v}{l}. \quad (10)$$

Подставляя (9) и (10) в (8), получим

$$K = \frac{1}{2} \cdot \frac{ml^3}{3} \cdot \left(\frac{v}{l} \right)^2 = \frac{1}{6} mlv^2. \quad (11)$$

Будем считать, что потенциальная энергия деформации ворса после его высвобождения от стопора целиком переходит в кинетическую энергию его вращения. Приравнявая (7) и (11) получим

$$\frac{3}{2} EI_c \frac{v^2}{l^3} = \frac{1}{6} mlv^2.$$

Решая последнее выражение относительно скорости v , а также учитывая, что момент инерции сечения стержня (ворса) равен $I_c = (\pi d^4)/64$ и масса $m = (\rho \pi l d^2)/4$, получаем

$$v = \frac{3}{4} \cdot \frac{vd}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (12)$$

Анализ формулы (12) показывает, что линейная скорость свободного конца ворса v после высвобождения от стопора прямо пропорциональна величине прогиба v и диаметру d и обратно пропорциональна квадрату длины l . Влияние материала ворса происходит в меньшей степени: прямо пропорционально модулю упругости E в степени 0,5 и обратно пропорционально плотности ρ в степени 0,5.

В таблице приводятся результаты определения скорости v по формуле (12) для щеток с металлическим и полипропиленовым ворсом различной длины и диаметра. Там же приводятся результаты расчетов по формуле (13) линейной скорости свободного конца ворса для щеток без стопора, вращающихся с угловыми скоростями $\omega_1 = 2 \text{ с}^{-1}$ (120 об/мин) и $\omega_2 = 5 \text{ с}^{-1}$ (300 об/мин) и жесткости ворса при изгибе EI .

$$v_1 = \omega_i \frac{D_i}{2}, \quad (13)$$

где D_i - диаметр щеточного венца (мм) (см. рис. а) при различной длине ворса.

Результаты определения линейной скорости свободного конца ворса при наличии и отсутствии стопора

d , мм	l , мм	v , мм	$EI \cdot 10^{-3}$, Н·м ²	v , м/с	D_i , мм	v_i , м/с	
						$\omega_1, \text{с}^{-1}$	$\omega_2, \text{с}^{-1}$
Со стопором			Без стопора				
Стальной ворс, $E = 3 \cdot 10^{11}$ Па; $\rho = 7800$ кг/м ³							
0,5	200	60	0,9	3,49	550	3,47	8,64
0,5	100	30	0,9	6,98	350	2,20	5,50
1,0	200	60	15	6,98	350	2,20	5,50
Полипропиленовый ворс, $E = 2 \cdot 10^9$ Па; $\rho = 900$ кг/м ³							
3	200	60	8	5,03	550	3,47	8,64
3	100	30	8	10,10	350	2,20	5,50
5	200	60	61	8,38	550	3,47	8,64
5	100	30	61	16,77	350	2,20	5,50

Примечание: величина прогиба v принималась равной $l/3$.

Сравнивая линейную скорость конца ворса при наличии и отсутствии стопора, можно сказать, что применение стопора оказывается эффективным в следующих случаях:

- при малой частоте вращения щетки (120 об/мин);
- при небольшой длине ворса (100 мм);
- при большом диаметре ворса (1 мм для стального и 3 мм для полипропиленового).

Необходимо заметить, что полученные результаты относятся к примеру небольших прогибов (не более 30% длины). При больших прогибах ворса необходимо переходить к рассмотрению сильных изгибов стержней [21-22].

В заключении можно отметить, что применение стопора имеет смысл при достаточной жесткости ворса при изгибе - более $8 \cdot 10^{-3}$ Н·м². В этом случае стопор как минимум позволяет значительно снизить частоту вращения щетки при сохранении эффективности ее работы, а при определенных условиях (уменьшенной длины ворса) значительно повысить ее подметальную способность.

Список литературы

1. Зедгенизов В.Г., Куксов М.П. Определение рациональных режимов работы малогабаритной коммунальной машины для летнего содержания дворовых территорий с использованием математического моделирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. №3 (98). С. 44-49.
 2. Куксов М.П. Обзор конструкций малогабаритной подметально-уборочной техники для коммунального хозяйства // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сб. ст. III Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2013. 442 с.

3. Куксов М.П. Техничко-экономическая эффективность использования подметально-уборочной машины // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сб. статей V Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. 380 с.
4. Нижегородов А.И., Куксов М.П. К построению математической модели рабочего процесса подметально-уборочной машины // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. №12 (83). С.88-91.
5. Алешков Д.С., Аюпова Н.Ю. Обоснование ширины ленты фрезы питателя фрезерно-роторного снегоочистителя // Вестник СибАДИ. 2017. № 2(54). С. 7-11. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2\(54\)-7-11](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2(54)-7-11).
6. Закиров М.Ф. Оптимизация рабочей скорости фрезерно-роторного снегоочистителя // Строительные и дорожные машины. 2015. № 10. С.55-57.
7. Марышев Б.С. Машины для зимнего содержания автомобильных дорог // Дорожная техника и технология. 2001. № 3-4. 35 с.
8. Тихонов А.А. Анализ технических характеристик фрезернороторных снегоочистителей // News of Science and Education. 2018. Т.1. № 4. С.003-005.
9. Aleshkov D.S., Sukovin M.V. Aerodynamic characteristics of the milling and rotary snowblower feeder in the loading gate area // International review of mechanical engineering (IREME). 2017. Vol. 11. No. 9. P. 701-708. DOI: 10.15866/ireme.v11i9.13832.
10. Лепеш А.Г. Научные основы повышения производительности подметальных агрегатов коммунальных машин // Инновации. 2011. № 6. С.136-139.
11. Лепеш А.Г., Лепеш Г.В. Математическое моделирование силового взаимодействия щеток коммунальных машин с дорожным покрытием // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2010. №3(13). С. 32-38.
12. Лепеш А.Г. К определению силового взаимодействия щеток коммунальных машин с дорожным покрытием // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2011. №1(15). С. 30-35.
13. Лепеш А.Г., Лепеш Г.В., Воронцов И.И. Методика экспериментального определения износостойкости щеточного ворса коммунальной уборочной техники // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2011. №2(16). С. 6-18.
14. Лепеш А.Г. Имитационное моделирование рабочего процесса коммунальной уборочной техники // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2011. №3(17). С. 32-41.
15. Лепеш А.Г. Теоретические основы процесса высокоскоростного трения и изнашивания щеток коммунальных машин // Сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. «Теория и практика инновационного развития экономики в сфере сервиса и туризма». Калининград. 2010. 436 с.
16. Лепеш А.Г. Функционирование и ресурс щеток коммунальной уборочной техники // Вестник Российской академии естественных наук. 2011. Вып. 15 №4. С. 128-130.
17. Лепеш А.Г. Прогнозирование изнашивания щеток коммунальных машин // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2010. № 2(12). С. 25-34.
18. Патент RU 220786. Щеточное устройство подметально-уборочной машины / В.М. Лисовенко, М.С. Алтунина, В.В. Зубов, А.В. Кречко, В.А. Сухарникова. Оpubл. 03.10.2023.
19. Взрывные явления. Оценка и последствия: в 2-х кн. Кн. 1. / У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэлтайн и др.; пер. с англ. под ред. Я.Б. Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. М.: Мир, 1986.
20. Теория упругости, перев. с англ., Тимошенко С.П., Гудьер Дж. // Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1975.
21. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней. М.: Наука, 1986.
22. Вальщиков Ю.Н. Производство, расчет и конструирование щеточных устройств. Л.: изд-во ЛГУ, 1974.

Кречко Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент, krechkoav@mail.ru, Россия, Шахты, Шахтинский автодорожный институт (филиала) ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова,

Лисовенко Василий Михайлович, канд. техн. наук, доцент, dmitriy.lisovenko@rambler.ru, Россия, Шахты, Шахтинский автодорожный институт (филиала) ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова,

Алтунина Мария Сергеевна, канд. техн. наук, доцент, mariyaltunina@mail.ru, Россия, Шахты, Шахтинский автодорожный институт (филиала) ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова,

Зубов Виктор Владимирович, канд. техн. наук, zubov.v@mail.ru, Россия, Шахты, Шахтинский автодорожный институт (филиала) ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова.

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE BRUSH DEVICE SWEEPER

A.V. Krechko, V.M. Lisovenko, M.S. Altunina, V.V. Zubov.

The article defines the directions for achieving the efficiency of the working process of the brush device of sweeping machines. It is proposed to increase the linear speed of the free end of the brush by radially introducing a rod - stopper (roller) into the rotating brush rim. To check the reliability of the proposed technical solution, the article makes an attempt to determine the linear speed of the free end of the deformed pile after its release. At the same time, the problems of determining the dependence of the potential energy of deformation of the pile on the magnitude of the deflection and the linear speed of the unbending pile were solved. The results of determining the speed of the free end of the rod for brushes with metal and polypropylene bristles are presented.

Key words: brush (brush device), stopper, pile, bending (deflection), rod, linear speed, brush rotation speed.

Krechko Alexander Vladimirovich, candidate of technical sciences, docent, krechkoav@mail.ru, Russia, Shakhty, Shakhty Automobile and Road Institute (branch) of SRSPU (NPI) named after M.I. Platov,

Lisovenko Vasily Mikhailovich, candidate of technical sciences, docent, dmitriy.lisovenko@rambler.ru, Russia, Shakhty, Shakhty Automobile and Road Institute (branch) SRSPU (NPI) named after M.I. Platov,

Altunina Maria Sergeevna, candidate of technical sciences, docent, mariyaltunina@mail.ru, Russia, Shakhty, Shakhty Automobile and Road Institute (branch) SRSPU (NPI) named after M.I. Platov,

Zubov Viktor Vladimirovich, candidate of technical sciences, zubov.v@mail.ru, Russia, Shakhty, Shakhty Automobile and Road Institute (branch) of SRSPU (NPI) named after M.I. Platov

УДК 614.847; 625.76.08

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-531-532

КРУГЛОГОДИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕННОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ И АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

А.В. Кузнецов, Н.М. Илларионова, В.П. Кузнецов, Е.Г. Воронцова

Рассмотрены основные аспекты круглогодичного применения приспособленной техники для устранения последствий от чрезвычайных ситуаций и обеспечения пожарной безопасности в труднодоступных районах. Отражено текущее состояние нормативных документов по пожарной безопасности в части использования такой техники. Предложены рекомендации для внесения изменений в озвученные нормативные документы, применительно к использованию приспособленной техники в РФ.

Ключевые слова: приспособленная техника, уборочные машины, расчистка, тушение пожаров, аварийно-спасательные работы, навесное оборудование.

Приспособленной техникой следует считать дорожные, сельскохозяйственные и строительные машины и устройства, оснащённые пожарно-техническим вооружением (главным образом, ёмкостями, рукавами, пожарными стволами) [1] и оборудованием для круглогодичной расчистки подъездных путей к местам ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Данные машины способствуют оперативной доставке обычной пожарной и спасательной техники (за счёт поддержания или восстановления удовлетворительного состояния подъездных путей), а также являются вспомогательными средствами для ведения аварийно-спасательных операций и тушения пожаров.

В Правилах противопожарного режима в Российской Федерации (далее - ППР) приспособленная техника упоминается всего два раза. Пункт 58 ППР обязывает руководителей организаций обеспечивать исправное техническое состояние приспособленной техники и закреплять за данной техникой водителя, который прошел специальную подготовку для работы на ней [2]. Требования, предъявляемые в ППР к приспособленной технике, могут быть не совсем достаточными для её эффективного использования в борьбе с пожарами и при осуществлении аварийно-спасательных работ. Кроме того, в Рекомендациях по организации пожаротушения в сельской местности 2000 года, содержатся сведения, относящиеся, в основном, к применению сельскохозяйственных машин и устройств в качестве приспособленной техники [1]. Поэтому вопросы, связанные с реализацией круглогодичной эксплуатации всех видов приспособленной техники являются весьма актуальными.

Следует отметить, что случаи использования приспособленной техники в России не ограничиваются какими-то единичными эпизодами. Особенно необходима данная техника для тушения пожаров и осуществления аварийно-спасательных работ в труднодоступных районах. Например, в августе 2022 года по поручению мэра Москвы в Рязанскую и Владимирскую области были направлены бульдозеры, тракторы, поливочные машины и другие виды дорожной и строительной техники от столичных коммунальных организаций для борьбы с лесными пожарами (рис. 1).

Приспособленные дорожные и коммунальные машины, в зависимости от климатического сезона, должны быть оснащены дополнительным сменным оборудованием для расчистки подъездных путей к труднодоступным районам проведения аварийно-спасательных работ.

В зимний период, с помощью сменного оборудования, должно обеспечиваться (частичное или полное) устранение многослойных участков зимней скользкости. Очевидно, что указанные участки имеют различную толщину и неоднородную поверхность [3, 4], поэтому для их устранения необходимо комплексное воздействие базового и дополнительного оборудования приспособленных уборочных машин.

С целью устранения многослойных участков зимней скользкости было разработано устройство ударного действия для плужно-щёточных машин [5, 6] (рис. 2).

Комплексное воздействие по устранению участка зимней скользкости осуществляется за счёт отвала, необходимого в этом случае для выравнивания поверхности данного участка, а также вращающихся на колёчатых валах ударных узлов с отбойниками, разрушающих последующие слои уплотнённого снега и льда, которые, в свою очередь, сметает щёточное оборудование.

При этом привод дополнительных устройств в большинстве современных коммунально-уборочных тракторов Минского тракторного завода (МТЗ) обеспечивается благодаря специальным боковым валам отбора мощности.

При помощи дополнительных рабочих органов приспособленных машин в весенне-осенний период должна выполняться расчистка подъездных путей от различных завалов, препятствующих [7] своевременному прибытию пожарной и спасательной техники к местам ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.



Рис. 1. Дорожно-уборочные машины с цистернами, направленные из Москвы для тушения лесных пожаров в Рязанской и Владимирской областях

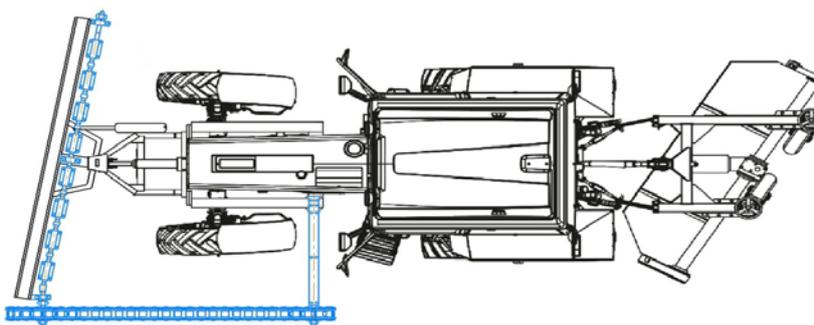


Рис. 2. Устройство ударного действия на базе коммунально-уборочной машины КМ-82 БР

Модернизация базового оборудования для его использования в весенне-осенний период должна заключаться в выборе эффективных конфигураций к контактирующим с завалами частям рабочих органов, в зависимости от способов расчистки завалов, а также от структуры и плотности удаляемых материалов. Данные особенности необходимо указывать в нормативных документах, касающихся применения приспособленной техники.

Тем не менее, вне зависимости от периода года, помимо расчистки имеющихся подъездных путей, приспособленная техника также должна быть предназначена и для прокладывания новых путей, в том случае, если их наличие будет способствовать более безопасному и эффективному функционированию пожарных и спасательных подразделений.

Эксплуатационные затраты для приспособленной (модернизированной) техники необходимо рассчитывать по формуле:

$$C_{\text{э}} = C_{\text{ТО}} + C_{\text{т}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{см}} + C_{\text{пб}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{оп}}$ – затраты на технический осмотр, текущий и капитальный ремонт, руб; $C_{\text{т}}$ – затраты на топливо, руб; $C_{\text{зп}}$ – заработная плата водителя и сотрудников ремонтной группы, руб; $C_{\text{см}}$ – затраты на смазочные материалы, руб; $C_{\text{пб}}$ – затраты на перебазировку техники, руб.

На основании вышеизложенного, считаем целесообразным то, что в нормативные документы МЧС России, регламентирующие применение пожарной, спасательной и пожарно-спасательной техники, необходимо включить термин «приспособленная техника», а также отдельную главу, содержащую основные особенности круглогодичного использования, технического обслуживания, порядок расчёта параметров и обоснования эффективности этих машин и устройств.

Вместе с тем, учитывая результаты уже проведённых исследований [5-7] и результаты фундаментальных исследований советских учёных [8], в настоящее время разрабатывается специальная методика для выбора конкретных модификаций дорожно-коммунальных машин и машин для земляных работ с целью их применения в качестве приспособленной техники, в зависимости от эксплуатационных параметров машин и оборудования, погодных условий, способов расчистки (уплотнения) и особенностей удаляемых (уплотняемых) материалов.

Список литературы

1. Рекомендации по организации пожаротушения в сельской местности. М.: ВНИИПО, 2001. 135 с.
2. Правила противопожарного режима в Российской Федерации. М.: ЭКСМО, 2024. 112 с.
3. Отраслевой дорожный методический документ. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. М.: Росавтодор, 2003. 59 с.
4. ГОСТ Р 50597-2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. М.: Стандартинформ, 2017. – 31 с.
5. Кузнецов А.В., Сладкова Л.А. Конструкционные особенности устройства ударного действия, предназначенного для борьбы с зимней скользкостью // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. Вып. 3. С. 260-267.
6. Кузнецов А.В., Сладкова Л.А. К вопросу проведения тягового расчёта для плужно-щёточных машин, дополнительно оснащённых уборочным оборудованием ударного действия // Строительные и дорожные машины. 2020. № 2. С. 34-36.

7. Гойкалов Г.Г., Кузнецов А.В. К вопросу применения приспособленной техники для проведения аварийно-спасательных работ // сборник материалов X Всероссийской науч.-практич. конф. «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов». Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия, 2023. С. 159-162.

8. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. М.: Машиностроение, 1975. 422 с.

Кузнецов Андрей Владимирович, канд. техн. наук, младший научный сотрудник, andrey-k92@mail.ru, Россия, Балашиха, Всероссийский Ордена «Знак Почёта» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России,

Илларионова Надежда Михайловна, phd doctor of philosophy, старший психолог, nm.illarionova@yandex.ru, Балашиха, Всероссийский Ордена «Знак Почёта» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России,

Кузнецов Владимир Петрович, ведущий инженер, kuznechov1958@rambler.ru, Балашиха, Всероссийский Ордена «Знак Почёта» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России,

Воронцова Елена Геннадьевна, начальник сектора, e.g.vorontsova@yandex.ru, Россия, Балашиха, Всероссийский Ордена «Знак Почёта» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России

YEAR-ROUND USE OF ADAPTED TECHNIQUE FOR FIRE FIGHTING AND EMERGENCY-RESCUE WORKS

A.V. Kuznetsov, N.M. Illarionova, V.P. Kuznetsov, E.G. Vorontsova

The main aspects of the year-round application of adapted technique for elimination the consequences from of emergency situations and provision fire safety in hard-to-reach areas are considered. Reflected the current state of regulatory documents on fire safety in regarding the use of such technique. Offered recommendations for are proposed for making changes to the voiced regulatory documents in relation to the use of adapted technique in the Russian Federation.

Key words: adapted technique, harvesting machines, clearing, fire fighting, emergency-rescue works, attachment equipment.

Kuznetsov Andrey Vladimirovich, candidate of technical sciences, junior scientific researcher, andrey-k92@mail.ru, Russia, Balashikha, All-Russian Order «Badge of Honor» Research Institute of Fire Protection EMERCOM of Russia,

Illarionova Nadezhda Mikhaylovna, PhD Doctor of Philosophy, senior psychologist, nm.illarionova@yandex.ru, Russia, Balashikha, All-Russian Order «Badge of Honor» Research Institute of Fire Protection EMERCOM of Russia,

Kuznetsov Vladimir Petrovich, lead engineer, kuznechov1958@rambler.ru, Russia, Balashikha, All-Russian Order «Badge of Honor» Research Institute of Fire Protection EMERCOM of Russia,

Vorontsova Elena Gennad'yevna, head of sector, e.g.vorontsova@yandex.ru, Russia, Balashikha, All-Russian Order «Badge of Honor» Research Institute of Fire Protection EMERCOM of Russia

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУЛЬДОЗЕРА НА ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

В.А. Жулай, В.Л. Тюнин, А.Н. Щиенко

Рассмотрена задача определения влияния технических характеристик бульдозера на время цикла его работы, а, следовательно, и его производительность, при копании и перемещении грунта по челночной схеме. Производительность бульдозера, как и любой машины периодического действия, определяется не только объемом выработанной продукции, но и временем ее создания, т. е. временем рабочего цикла. Проведен анализ влияния на общую величину времени цикла его отдельных составляющих. Для проведения аналитических исследований приняты значения технических характеристик средних бульдозеров (тяговый класс гусеничных тракторов 10, 15 тс). В результате проведенных аналитических исследований установлено: величины составляющих цикла работы бульдозера существенно зависят от дальности транспортировки грунта; время копания грунта, определяемое совершенством рабочего органа и энергонасыщенностью базового трактора, оказывает значимое влияние на общее время цикла работы только при небольших дальностях перемещения грунта (до 30 м), при дальностях перемещения грунта более 30 м основное влияние на общее время цикла оказывают время транспортировки грунта и время холостого хода; наибольшим потенциалом по снижению времени цикла работы бульдозера имеет составляющая времени транспортирования грунта, определяемая скоростью движения бульдозера на этой операции, которая ограничивается динамическими свойствами системы управления отвалом и человека-оператора.

Ключевые слова: бульдозеры, производительность.

Бульдозеры являются одной из основных машин для производства земляных работ при строительстве зданий, сооружений и оснований автомобильных дорог.

В соответствии с основным назначением, которое заключается в послойной разработке грунта и его транспортировании на небольшие расстояния, бульдозер выполняет следующие основные операции: зарезание и набор грунта перед отвалом, перемещение его к месту разгрузки, разгрузка и возвращение на холостом ходу к точке начала работы.

Производительность бульдозера при выполнении указанных операций рабочего цикла будет зависеть от его конструктивных параметров – длины и ширины отвала, его формы, и технических характеристик – веса, мощности двигателя, типов трансмиссии и движителя, скоростей движения и др.

В настоящее время основным путем повышения производительности бульдозеров является совершенствование конструкции их рабочих органов – отвалов [1-4]. Новые конструкции отвалов позволяют либо увеличить объем набираемой ими призмы волочения, либо сократить потери грунта в боковые валики при его транспортировании, или все это вместе [1-4].

Однако производительность бульдозера, как и любой машины периодического действия, определяется не только объемом выработанной продукции, но и временем ее создания, т. е. временем рабочего цикла.

В соответствии со сказанным техническая производительность бульдозера при копании и перемещении грунта по челночной схеме работы определяется по формуле [5-9], м³/ч:

$$\Pi_{\Gamma} = \frac{3600V_{\Pi}K_y}{t_{\Gamma}}, \quad (1)$$

где V_{Π} – объем призмы волочения, м³; K_y – коэффициент, учитывающий влияние уклона местности на производительность бульдозера; t_{Γ} – продолжительность рабочего цикла, с.

Объем призмы волочения, м³ равен [5, 7, 8]:

$$V_{\Pi} = \frac{B_0 \cdot H_0^2 \cdot (1 - \varepsilon)}{2 K_p \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \quad (2)$$

где B_0 , H_0 – ширина и высота отвала бульдозера, м; ε – коэффициент, учитывающий потери грунта при транспортировании (для несвязных грунтов $\varepsilon = 0,06 \dots 0,07$, для связных $\varepsilon = 0,025 \dots 0,032$ на каждые 10 м перемещения) [5, 7, 8]; K_p – коэффициент разрыхления грунта при копании, $K_p = 1,08 \dots 1,32$; α – угол естественного откоса перемещаемого грунта, $\alpha = 30 \dots 40^\circ$.

Время рабочего цикла, с:

$$t_{\Gamma} = \frac{L_K}{v_K} + \frac{L_{\Pi}}{v_{\Pi}} + \frac{L_X}{v_X} + t_0, \quad (3)$$

где L_K – длина пути копания (зарезания и набора) грунта, м; L_{Π} – длина пути перемещения грунта, м; $L_X = L_K + L_{\Pi}$ – длина пути холостого хода бульдозера, м; v_K , v_{Π} , v_X – средняя скорость движения бульдозера соответственно при копании, перемещении и холостом ходу, м/с; t_0 – время остановок в начале и конце рабочего хода $t_0 = 8$ с [5, 7].

В тяговом режиме при копании грунта скорость движения гусеничного бульдозера v_K примерно на 20 % ниже рабочей скорости на первой передаче $v_{\Gamma I}$ [5-8].

Таким образом, производительность бульдозера будет определяться величиной объема призмы волочения доставленной к месту разгрузки и временем цикла работы.

Рассмотрим влияние технических характеристик бульдозера на время цикла его работы, а, следовательно, и его производительность, при копании и перемещении грунта по челночной схеме.

Для проведения аналитических исследований примем следующие значения технических характеристик средних бульдозеров (тяговый класс гусеничных тракторов 10, 15 тс) [5, 7, 10, 11].

Скорость на первой рабочей передаче: $v_{pI} = 0,35 \dots 1,1$ м/с, $v_{pIcp} \approx 0,73$ м/с. Скорость движения бульдозера при перемещении грунта: $v_{п} = 1,25 \dots 1,7$ м/с, $v_{пcp} \approx 1,46$ м/с. Скорость движения бульдозера на холостом ходу: $v_x = 0,9 \dots 2,6$, $v_{xcp} \approx 1,75$ м/с. Время остановок в начале и конце рабочего хода $t_o = 8$ с.

В соответствии с формулой (1) для повышения производительности бульдозера необходимо минимизировать время цикла его работы.

Проанализируем влияние на общую структуру времени цикла его отдельных составляющих.

Первые три составляющих (формула (3)) представляют собой время выполнения рабочих операций и холостого хода. Они равны отношению пути, на котором выполняется данная операция к скорости ее выполнения. Четвертая составляющая – это время выполнения вспомогательных операций, т. е. время остановок в начале и в конце рабочего хода [5, 7].

Величины первой и четвертой составляющих времени цикла не зависят от дальности перемещения грунта. Определим их вклад в общее значение времени цикла работы бульдозера, равный отношению времени этой составляющей к общему времени цикла.

Значения величин долей (относительных величин) первой и четвертой составляющих представлены на рис. 1.

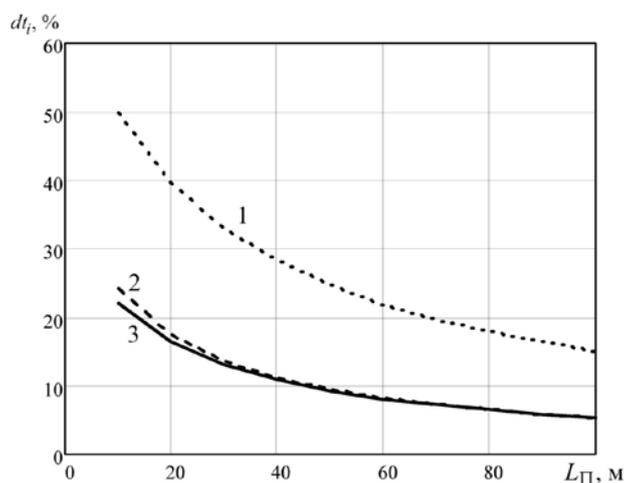


Рис. 1. Графики зависимостей относительных величин составляющих времени копания грунта dt_k и остановок в начале и конце рабочего хода dt_o в общем времени цикла работы бульдозера:

1 – dt_k при $v_{pI} = 0,35$ м/с; 2 – dt_k при $v_{pI} = 1,1$ м/с; 3 – dt_o при $t_o = 8$ с

Из анализа представленных графических зависимостей видно, что время копания грунта t_k и время остановок t_o составляют значительные величины (20...30 %) в общем времени цикла $t_{ц}$ только при малых дальностях перемещения грунта ($L_{п} = 10 \dots 40$ м). При больших дальностях перемещения ($L_{п} = 60 \dots 100$ м) их вклад уменьшается более чем в три раза.

Снижение скорости 1-й рабочей передачи, а, следовательно, и средней скорости копания грунта в 3,1 раза (с 1,1 до 0,35 м/с) приводит к увеличению dt_k в два раза (с 24 % до 50 %) при дальности перемещения грунта $L_{п} = 10$ м, что является очень значимым.

Значения второй и третьей составляющих времени рабочего цикла зависят от дальности транспортировки грунта, а, соответственно, от пути холостого хода и средних скоростей движения бульдозера на этих операциях.

Перемещение вырезанного грунта бульдозером, как правило, осуществляется на 2-й или 3-й рабочих передачах со скоростью до 1,5 м/с. Величина скорости перемещения грунта ограничивается динамическими свойствами системы управления отвалом и человека-оператора [4]. Повысить скорость движения бульдозера при перемещении грунта возможно за счет установки системы автоматического управления рабочим органом.

Средняя скорость холостого хода зависит от типа подвески ходовой системы трактора. Для гусеничного трактора максимальная скорость заднего хода, как правило, не превышает 1,6 м/с при полужесткой балансирной подвеске и 2,6 м/с – при эластичной [5, 7].

Значения относительных величин составляющих времени цикла на перемещение грунта $dt_{п}$ и холостого хода dt_x представлены на рис. 2.

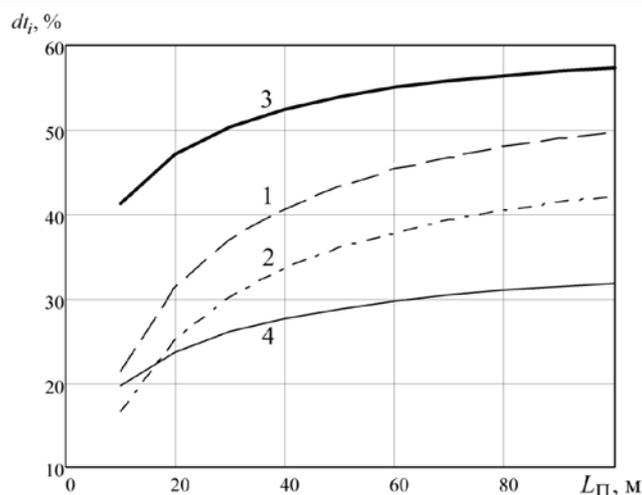


Рис. 2. Графики зависимостей относительных величин составляющих времени перемещения грунта $dt_{п}$ и холостого хода $dt_{х}$ в общем времени цикла работы бульдозера: 1 – $dt_{п}$ при $v_{п} = 1,25$ м/с; 2 – $dt_{п}$ при $v_{п} = 1,7$ м/с; 3 – $dt_{х}$ при $v_{х} = 0,9$ м/с; 4 – $dt_{х}$ при $v_{х} = 2,6$ м/с

Из анализа представленных графических зависимостей видно, что малая величина скорости заднего хода ($v_{х} < 1$ м/с) приводит к увеличению доли времени холостого хода 40...50 % при дальности перемещения грунта менее 30 м. Это свидетельствует о неэффективности использования бульдозеров с $v_{х} \leq 1$ м/с.

Доля составляющей холостого хода $dt_{х}$ при увеличении дальности транспортирования грунта с 10 до 100 м (для $v_{х} = 2,6$ м/с) увеличивается с 20 % до 32 %, т. е. 1,6 раза, а доля составляющей перемещения грунта $dt_{п}$ – с 19 % до 46 %, т. е. в 2,4 раза.

Таким образом, интенсивность увеличения составляющей времени перемещения грунта в 1,5 раза выше увеличения составляющей времени холостого хода.

В связи с этим представляет интерес рассмотрение баланса составляющих времени цикла работы бульдозера при средних значениях скоростей его движения на всех составляющих цикла.

На рис. 3 представлен баланс составляющих времени цикла работы бульдозера для различных дальностей перемещения грунта.

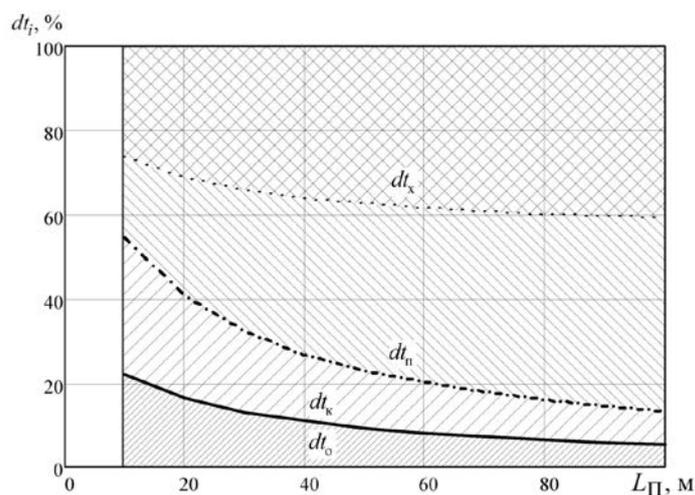


Рис. 3. Баланс составляющих времени цикла работы бульдозера

Из анализа представленного баланса видно, что при дальности транспортирования грунта $L_{п} = 10$ м основную долю времени цикла занимает время копания грунта $dt_{к} = 32$ %, затем холостой ход $dt_{х} = 26$ % и оставшаяся доля приходится примерно поровну на время перемещения $dt_{п}$ и остановок $dt_{о}$ – по 20 %.

При дальности $L_{п} = 20...30$ м основные доли времени цикла (примерно по 30 %) будут у времени холостого хода $dt_{х}$ и перемещения грунта $dt_{п}$, а доля времени копания $dt_{к}$ составляет примерно 20 %.

При дальностях перемещения $L_{п} = 80...100$ м основные доли времени цикла также будут у $dt_{х}$ и $dt_{п}$, но уже около 40%, доли $dt_{к}$ и $dt_{о}$ уменьшатся до 6...8 %.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Для повышения производительности бульдозеров необходимо не только совершенствовать конструкцию рабочего органа, но и улучшать их технические характеристики, позволяющие сократить время цикла их работы.
2. Величины составляющих цикла работы бульдозера существенно зависят от дальности транспортировки грунта.
3. Время копания грунта, определяемое совершенством рабочего органа и эргономасущенностью базового трактора, оказывает значимое влияние на общее время цикла работы только при небольших дальностях перемещения грунта (до 30 м).
4. При дальностях перемещения грунта более 30 м основное влияние на общее время цикла оказывают время транспортировки грунта и время холостого хода.
5. Наибольшим потенциалом по снижению времени цикла работы бульдозера имеет составляющая времени транспортирования грунта, определяемая скоростью движения бульдозера на этой операции, которая ограничивается динамическими свойствами системы управления отвалом и человека-оператора. Повысить скорость движения бульдозера на этой операции возможно за счет автоматизации системы управления рабочим органом.

Список литературы

1. Курилов Е.В., Трошин Д.И. Транспортирующие свойства отвала бульдозера // Механизация строительства. 2013. №12. С. 59-61.
2. Курилов Е.В., Трошин Д.И. Повышение эффективности бульдозерных отвалов // Строительные и дорожные машины. 2014. № 9. С. 9-12.
3. Патент 2726757 РФ. Отвал бульдозера / В.А. Нилов, М.М. Володин, А.В. Пенин, А.А. Левченко. Опубл. 15.07.2020. Бюл. № 20.
4. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Система регулирования глубины резания грунтов // Строительные и дорожные машины. 2014. № 1. С. 48-51.
5. Кудрявцев Е.М. Строительные машины и оборудование: Учебник. М.: АСВ, 2012. 328 с.
6. Жулай В.А. Строительные машины: сб. расч. работ: учеб. пособие. Воронеж: ВГТУ, 2017. 100 с.
7. Строительные машины: Справочник: В 2 т. Т. 1: Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог / Под общ. ред. Э.Н. Кузина. М.: Машиностроение, 1991. 496 с.
8. Гусев С.А. Расчет производительности тракторного агрегата // Строительные и дорожные машины. 2014. № 1. С. 6-11.
9. Жулай В.А. О производительности землеройно-транспортных машин // Строительные и дорожные машины. 2013. № 3. С. 37-38.
10. Жулай В.А. Куприн Н.П. Строительные, дорожные машины и оборудование: справочное пособие. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2015. 98 с.
11. Технологические машины и комплексы в дорожном строительстве (производственная и техническая эксплуатация): Учеб. пособие / Под ред. В.Б. Пермякова. М.: ИД «БАСТЕТ», 2014. 752 с.

Жулай Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, zhulai@cchgeu.ru, Россия, Воронеж, Воронежский государственный технический университет,

Тюнин Виталий Леонидович, канд. техн. наук, доцент, декан факультета, tuninvl@yandex.ru, Россия, Воронеж, Воронежский государственный технический университет,

Щенко Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, a.n.shienko@mail.ru, Россия, Воронеж, Воронежский государственный технический университет

INFLUENCE OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF A BULLDOZER ON ITS PRODUCTIVITY

V.A. Zhulai, V.L. Tyunin, A.N. Shchienko

The problem of determining the influence of the technical characteristics of a bulldozer on the cycle time of its operation, and, consequently, its productivity, when digging and moving soil using a shuttle pattern is considered. The productivity of a bulldozer, like any periodic machine, is determined not only by the volume of products produced, but also by the time of its creation, i.e. work cycle time. An analysis of the influence of its individual components on the total cycle time was carried out. To conduct analytical studies, the values of the technical characteristics of medium-sized bulldozers (traction class of crawler tractors 10, 15 tf). As a result of the conducted analytical researches it has been established: the values of components of the bulldozer work cycle essentially depend on the distance of soil transportation; the time of digging the soil, determined by the perfection of the working body and energy content of the basic tractor, has a significant influence on the general time of the work cycle only at small distances of soil movement (up to 30 m), at distances of soil movement more than 30 m the main influence on the general time of the cycle have the time of soil transportation and idling time; the greatest sweat of the cycle is the time of soil transportation and idling time

Key words: bulldozers, productivity.

Zhulai Vladimir Alexeyevich, doctor of technical sciences, professor, head of the chair, zhulai@cchgeu.ru, Russia, Voronezh, Voronezh State Technical University,

Tyunin Vitaliy Leonidovich, candidate of technical sciences, docent, dean of the faculty, tuninvl@yandex.ru, Russia, Voronezh, Voronezh State Technical University,

Shchienko Alexey Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, a.n.shienko@mail.ru, Russia, Voronezh, Voronezh State Technical University

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ

А.И. Юхин, А.Н. Шафорост, В.Ю. Анцев, А.С. Толоконников, А.Д. Горынин

В работе описывается методика формирования оптимального маршрута движения коммерческого транспорта при перевозке опасных грузов, позволяющая повысить эффективность деятельности транспортной компании посредством оптимизации процесса формирования маршрутов перевозок.

Ключевые слова: транспортная логистика, векторная оптимизация, оптимальный маршрут, матрица парных сравнений, тариф на перевозку.

Транспорт – это отрасль материального производства, осуществляющая перевозки людей и грузов. В структуре общественного производства транспорт относится к сфере производства материальных услуг. Значительная часть логистических операций на пути движения материального потока от первичного источника сырья до конечного потребления осуществляется с применением различных транспортных средств. Затраты на выполнение этих операций составляют до 50 % от суммы общих затрат на логистику [1].

Транспортная логистика является одним из основополагающих направлений науки об управлении информационными и материальными потоками в процессе движения товаров. Ключевой функцией транспортной логистики является транспортировка, которая заключается в перемещении продукции транспортным средством по определенной технологии в цепи поставок и состоящая из логистических операций и функций [1].

Логистический подход к организации автомобильных перевозок обуславливает новое методологическое содержание, заключающееся в том, что основной составляющей частью перевозок должно стать проектирование оптимального (рационального) перевозочного процесса. Под этим понимается поиск наилучших организационных и технически возможных решений, обеспечивающих максимальную эффективность перевозки грузов от места их производства до места потребления [2].

На основании вышеизложенного, для улучшения системы грузоперевозок и повышения эффективности использования подвижного состава может быть предложено такое мероприятие, как разработка рационального маршрута движения транспортных средств.

В настоящее время в условиях значительного роста объемов перевозок грузов в городах для обеспечения наиболее рационального использования подвижного состава и сокращения транспортных затрат большое значение имеет определение кратчайших расстояний между пунктами транспортной сети.

Многие предприятия **при построении маршрутов перевозок все чаще** сталкиваются с нижеперечисленными проблемами:

необоснованно длинные пути перевозки груза – то есть перевозка груза осуществляется не по кратчайшим расстояниям;

излишние перевозки – другими словами, когда однородная продукция имеется в достаточном количестве в данном месте;

большое число повторных перевозок – груз следует не прямо к потребителю, а проходит через большое число промежуточных звеньев логистической цепи (базы, склады и т. п.).

Нерациональные перевозки приводят к повышению логистических и в первую очередь транспортных издержек, к дополнительной нагрузке на транспортные пути.

При планировании любой категории маршрута необходимо учитывать их специфические особенности. Например, городской маршрут планируется с учетом утренних и вечерних пробок в определенных районах города, наличия светофоров на пути, ведущихся дорожно-строительных работ. Пригородные маршруты должны учитывать плотность автомобильного потока на выезде из города. При планировании маршрута международных грузоперевозок необходимо просчитать время, которое может быть потрачено при прохождении таможенного поста, состоянии дорожного полотна и правила пользования автотрассами за рубежом.

Кроме того, существует ряд грузов (негабаритных и крупногабаритных), доставка которых сопряжена с трудностями. В случае доставки таких грузов необходимо учитывать такие особенности, как наличие мостов и тоннелей по пути следования, варианты возможных объездов.

Все нюансы, касающиеся товара, должны быть обязательно учтены при маршрутизации. Выбирая тот или иной маршрут при перевозке грузов, необходимо учитывать особенности погоды и состояние дорог в каждом регионе. Особенно это касается междугородних и международных маршрутов.

На практике принятие решений осуществляется на основе нескольких различных критериев $f_i(a_i)$ [3-9].

Выделение наиболее важных показателей в качестве оценки возможных альтернатив, соответствующих поставленным целям, приводит к задаче векторной оптимизации [3].

Решение такой задачи основано на нахождении максимального результата совокупной функции полезности (вектор функции):

$$f^*(a_i) = [f_1(a_i), f_2(a_i), \dots, f_j(a_i), \dots, f_n(a_i)] \rightarrow \max,$$

где j – порядковый номер оценочного критерия, показателя, характеризующего деятельность компании; n – число оценочных критериев; i – порядковый номер альтернативы; a – альтернативный вариант как некоторая совокупность управленческих решений.

Предпринимательские цели (критерии) имеют различный масштаб и несопоставимые шкалы (единицы) измерения. Прежде чем приступить к решению многокритериальной задачи данные критерии необходимо привести

к одной и той же единице измерения (безразмерной величине). Процесс приведения критериев в единый вид называется нормализацией [3].

В данной работе предлагается использование метода нормализации сравнения, для которого:

$$f^*(a_i) = \frac{f_j(a_i)}{f_j^{\max}(a_i)},$$

где $f_j(a_i)$ – значение текущего результата, $f_j^{\max}(a_i)$ – значение критерия.

На следующем этапе необходимо произвести оценку полученных значений и выбор альтернативы.

Выбор оптимального маршрута движения осуществляется на основе нескольких различных критериев, которые необходимо свести к одному, для этого наиболее применим метод свертывания критериев.

В этом случае каждому из анализируемых критериев присваивается весовой коэффициент q_j , который отражает степень значимости текущего показателя:

$$f^*(a_i) = \sum_{j=1}^n q_j f_j^*(a_i) \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n q_j = 1.$$

Значение коэффициента q_j определяется на основе экспертных оценок.

В данной работе предлагается использование метода попарных сравнений, при использовании которого строится матрица, где на пересечении строки и столбца фиксируются номера тех функций, которые оказываются наиболее важными при попарном сравнении [10].

В табл. 1 приведена оценка функций. В ней A_1, A_2, \dots, A_n обозначают основные факторы, определяющие состав объекта. Тогда для определения структуры объекта заполняется матрица парных сравнений, число строк и столбцов которой равно числу рассматриваемых объектов и элементы которой получаются следующим образом: на пересечении i -й строки j -го столбца такой матрицы стоит 1, если i -й объект нравится рассматриваемому эксперту больше, чем j -й, и стоит 0, если, напротив, j -й объект эксперту более симпатичен, чем i -й. Ниже вместо выражений типа «объект a_i лучше объекта a_j » будем использовать выражение $a_i > a_j$. В общем виде матрицу для эксперта

r_x ($x = 1, 2, \dots, N$, где N – количество экспертов) обозначим через $\|\delta_{ij}\|$, где

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{– если эксперт } r_x \text{ считает, что } a_i > a_j, \\ 0 & \text{– если эксперт } r_x \text{ считает, что } a_i < a_j. \end{cases}$$

Таблица 1

Матрица парных сравнений

Общее представление матрицы парных сравнений				
Фактор	A_1	A_2	...	A_n
A_1	1	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	1
...
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	1

Исследуемая Тульская транспортная компания предоставляет услуги по перевозке наливных грузов, сборных грузов, этилового спирта (в том числе денатурата) по территории Российской Федерации и стран ближнего и дальнего зарубежья.

Компания имеет большой опыт в перевозке грузов. Современный парк подвижного состава выгодно выделяет данную компанию из ряда других, так как она всегда предоставляет вовремя и технически исправный автомобильный транспорт.

С целью повышения уровня клиентского сервиса и стабильности выполнения обязательств компания обладает парком автомобилей в количестве 24 единиц. Современная техническая база позволяет в кратчайшие сроки производить текущее обслуживание и ремонт техники.

Для оптимизации процесса транспортно-логистических услуг результаты проведенных исследований были внедрены в указанной компании.

Разрабатываемая методика была реализована в среде электронных таблиц MS Excel, позволяющих после ввода исходных данных определить оптимальный маршрут (рис. 1) [4].

Верификацию разработанной методики будем производить на примере разработки оптимального маршрута доставки автомобильным транспортом опасного груза – жидкого битума 70/100, вес брутто – 25 тонн, из России в г. Шауляй (Литва). В данном примере считается, что битум в г. Шауляй может быть доставлен из предприятий, находящихся в городах Кириши или Вязьма.

На первоначальном этапе разработки маршрута движения логистами компании с использованием сервиса «Яндекс карты» прорабатываются варианты маршрутов. Данный сервис сам определяет, где есть платные участки дорог. Это очень упрощает работу логистов. Но бывают случаи, когда данный программный продукт находит не самый оптимальный маршрут и поэтому логистам приходится прокладывать его самостоятельно. Так же нужно учитывать человеческий фактор, который заключается в том, что наполнение емкостей автомобилем жидким грузом контролирует человек с использованием разнообразных насечек и меток, а не автоматическое устройство. Поэтому зачастую работниками допускается перелив жидкого груза, в данном случае – битума.

Исходные данные						
	K1	K2	K3	K4		
Название маршрута	Цена перевозки, евро/т	Время перевозки, мин	Качество дороги (K3), баллов (от 1 до 5)	Загруженность трассы, баллов (от 1 до 5)		
Маршрут 1	39,4	848	1	3		
Маршрут 2	49,7	927	2	2		
Маршрут 3	52,5	881	2	2		
Маршрут 4	49,4	927	1	2		
Критериальные ограничения						
K1, евро/т (не менее)	38					
K2, мин (не более)	1000					
K3, баллов (не более)	2					
K4, баллов (не более)	3					
Нормированная матрица						
Маршруты	Цена перевозки (K1), евро	Время перевозки (K2), мин	Качество дороги (K3), баллов	Качество дороги (K4), баллов		
Маршрут 1	0,96	0,85	2	1		
Маршрут 2	0,76	0,93	1	1,5		
Маршрут 3	0,72	0,88	1	1,5		
Маршрут 4	0,77	0,93	2	1,5		
Матрица парных сравнений						
	Расстояние (K1)	Время перевозки (K2)	Качество дороги (K3)	Загруженность трассы (K4)	Сумма	
Расстояние (K1)	1	0	0	0	1	0,1
Время перевозки (K2)	1	1	1	1	4	0,6
Качество дороги (K3)	1	0	1	0	2	0,3
Загруженность трассы (K4)	1	0	1	1	3	0,4
					7	
						Критерий
Маршрут 1	0,14	0,48	0,57	0,43	1,62	
Маршрут 2	0,11	0,53	0,29	0,64	1,57	
Маршрут 3	0,10	0,50	0,29	0,64	1,54	
Маршрут 4	0,11	0,53	0,57	0,64	1,85	

Рис. 1. Электронные таблицы MS Excel

В рассматриваемом примере прорабатываются четыре альтернативных маршрута [4]. Результаты поиска маршрутов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Альтернативные маршруты движения

Номер маршрута	Маршрут поставки
Маршрут 1	Кириши – Псков – Рига – Шауляй
Маршрут 2	Кириши – Резекне – Даугавпилс – Шауляй
Маршрут 3	Вязьма – Минск – Вильнюс – Шауляй
Маршрут 4	Вязьма – Резекне – Даугавпилс – Шауляй

В табл. 3 представлены минимальные тарифы транспортной компании на перевозку грузов, действующие в 2020 году [4].

Таблица 3

Минимальные тарифы на грузовые перевозки

Район перевозок	Стоимость перевозки 1 тонны груза на 1 км
Территория России	3,7 руб.
Зарубежные страны	0,06 евро

Характеристики маршрута 1. Длина и время маршрута от начального пункта до пункта назначения (рис. 2) представлены в табл. 4. Поскольку перевозка в данном случае будет проходить транзитом через Эстонию, необходимо учитывать время на прохождение границ Россия – Латвия (2 часа) и Латвия – Литва (2 часа) (здесь и далее используются данные 2020 года).

Таблица 4

Характеристики маршрута 1

Маршрут 1	Расстояние, км	Время, мин.	Цена перевозки, евро/т
Кириши – Псков	340	266	20,4
Псков – Рига	280	233	11,2
Рига – Шауляй	130	109	7,8
Граница Россия – Латвия		120	
Граница Латвия – Литва		120	
Итого		848	39,4

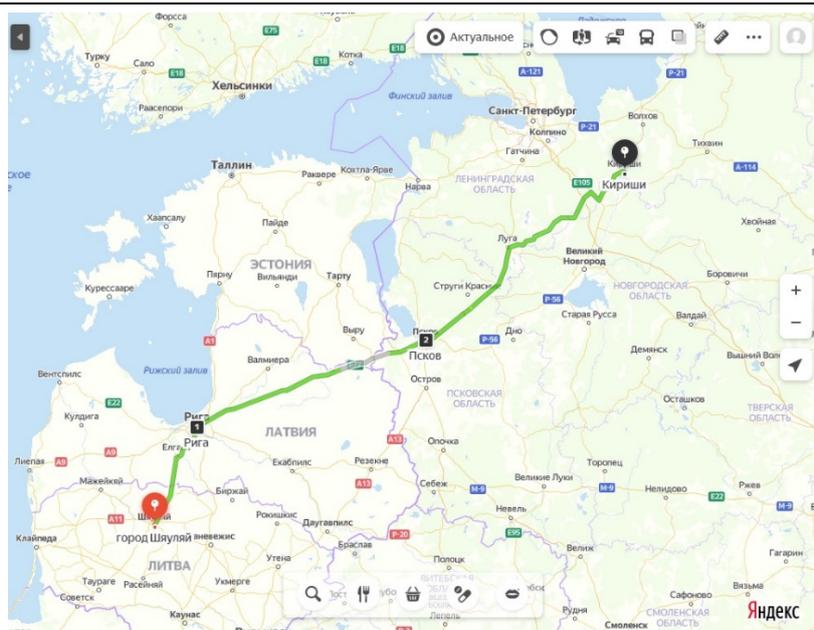


Рис. 2. Маршрут 1

Характеристики маршрута 2. Длина и время маршрута от начального пункта до пункта назначения (рис. 3) представлены в табл. 5. Поскольку перевозка в данном случае будет проходить транзитом через Латвию, необходимо учитывать время на прохождение границ Россия – Латвия (2 часа) и Латвия – Литва (2 часа).

Таблица 5

Характеристики маршрута 2

Маршрут 2	Расстояние, км	Время, мин.	Стоимость перевозки, евро/т
Кириши – Резекне	490	386	29,4
Резекне – Даугавпилс	93	79	5,6
Даугавпилс – Шауляй	240	222	14,4
Граница Россия – Латвия		120	
Граница Латвия – Литва		120	
Итого		927	49,4

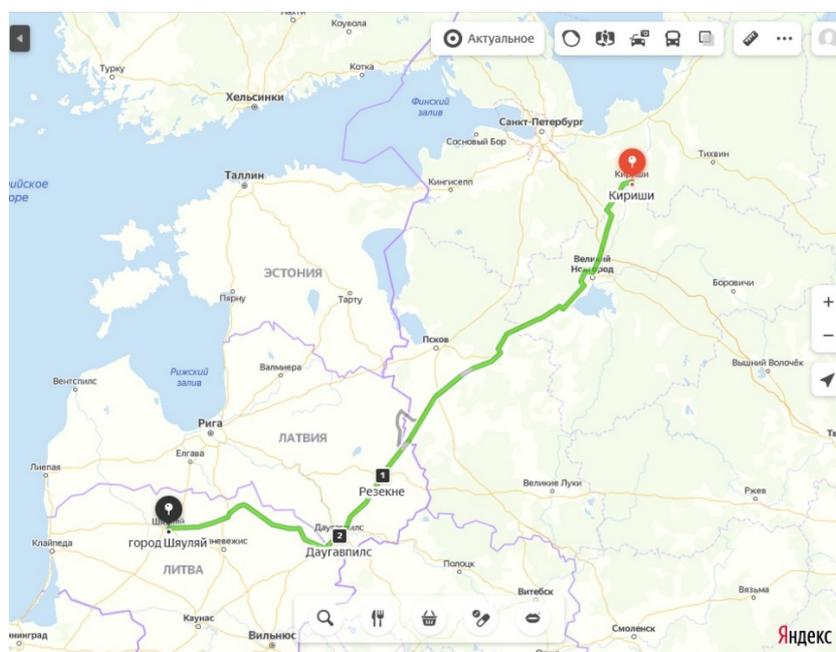


Рис. 3. Маршрут 2

Характеристики маршрута 3. Длина и время маршрута от начального пункта до пункта назначения (рис. 4) представлены в табл. 6. Поскольку перевозка в данном случае будет проходить транзитом через Белоруссию, необходимо учитывать время на прохождение границ Россия – Белоруссия (2 часа) и Белоруссия – Литва (2 часа), стоит учесть, что в Белоруссии все федеральные трассы являются полностью платными. При въезде на территорию страны в обязательном порядке придется брать в аренду Транспордер (стоимость аренды не менее 88 евро).

Таблица 6

Характеристики маршрута 3

Маршрут	Расстояние, км	Время, мин.	Стоимость перевозки, евро/т
Вязьма – Минск	490	321	29,4
Минск – Вильнюс	190	157	11,4
Вильнюс – Шауляй	190	163	11,4
Граница Россия – Белоруссия		120	
Граница Белоруссия – Литва		120	
Итого		881	52,2

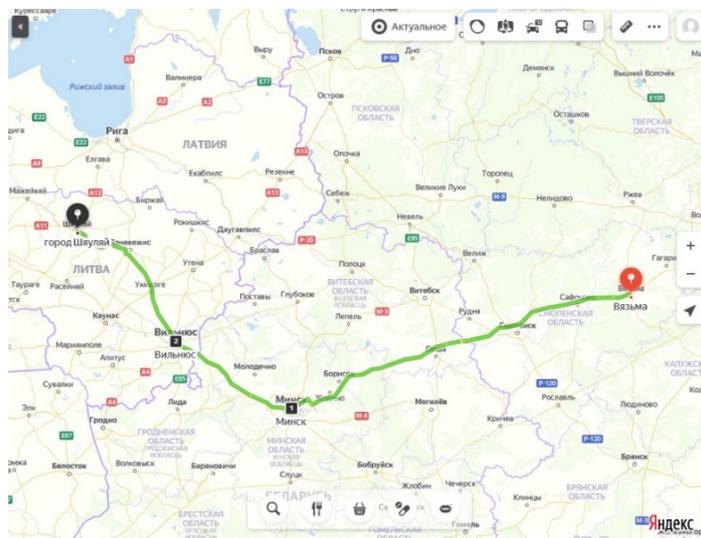


Рис. 4. Маршрут 3

Характеристики маршрута 4. Длина и время маршрута от начального пункта до пункта назначения (рис. 5) представлены в табл. 7. В данном случае, как и в варианте 2, транспорт будет проходить транзитом через Латвию, необходимо учитывать время на прохождение границ Россия – Латвия (2 часа) и Латвия – Литва (2 часа).

Таблица 7

Характеристики маршрута 4

Маршрут	Расстояние, км	Время, мин.	Стоимость перевозки, евро/т
Вязьма – Резекне	560	386	33,6
Резекне – Даугавпилс	93	79	5,6
Даугавпилс – Шауляй	240	222	14,4
Граница Россия – Латвия		120	
Граница Латвия – Литва		120	
Итого		927	49,4

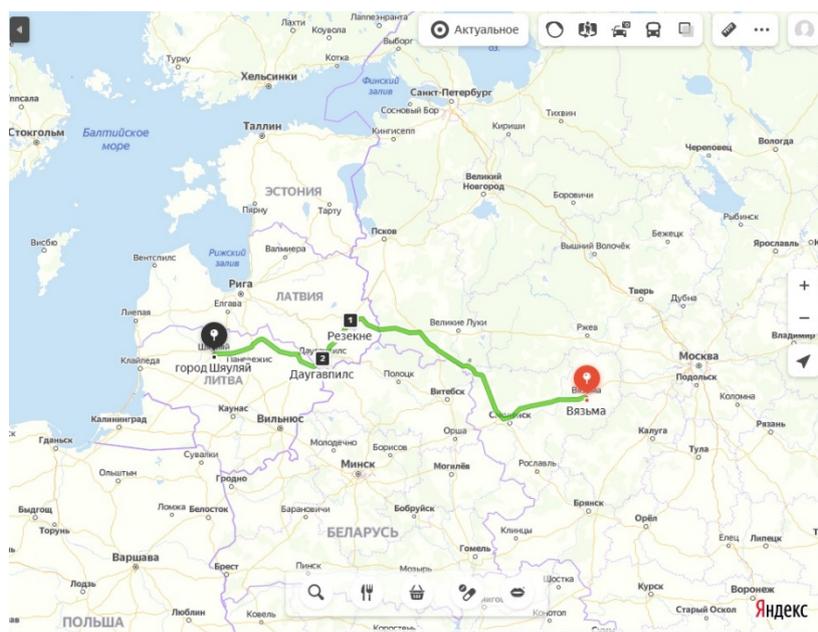


Рис. 5. Маршрут 4

Критерии оценки маршрутов представлены в табл. 8. При проведении сравнительной оценки маршрутов необходимо учитывать, что при перевозке битума, одним из самых важных критериев, является время перевозки. Это связано с тем, что, во-первых, битум – это опасный груз, и, во-вторых, он должен быть доставлен горячим. Если битум застынет, то его будет очень проблематично слить, а в худшем случае цистерна будет подлежать утилизации.

Таблица 8

Критерии перевозок

Обозначение	Наименование критерия
$f_1(a_1)$	Цена перевозки, евро/т
$f_2(a_2)$	Время перевозки, час.
$f_3(a_3)$	Качество дороги, балл
$f_4(a_4)$	Загруженность трассы, балл

Критерий $f_3(a_3)$ может принимать следующие значения, балл:

- 1 – очень хорошее качество;
- 2 – хорошее качество;
- 3 – хорошее качество, но часто бывают ДТП;
- 4 – плохое качество (грунтовка).

Критерий $f_4(a_4)$ может принимать следующие значения, балл:

- 1 – свободное движение;
- 2 – местами плотное движение;
- 3 – плотное движение;
- 4 – загруженная трасса.

Для конкретного примера были приняты следующие граничные условия критериев, представленные в табл. 9 [4].

Таблица 9

Принятые граничные условия критериев перевозки

Обозначение	Наименование критерия	Граничное значение
$f_1(a_1)$	Цена перевозки, евро/т	Не менее 38
$f_2(a_2)$	Время перевозки, мин.	Не более 1000
$f_3(a_3)$	Качество дороги, баллов	Не более 2
$f_4(a_4)$	Загруженность трассы	Не более 3

В результате характеристики альтернативных маршрутов принимают значения, представленные в табл. 10.

Таблица 10

Характеристики альтернативных маршрутов

Маршрут	Цена перевозки ($f_1^{\max}(a_1)$), евро/т	Время перевозки ($f_2^{\max}(a_2)$), мин	Качество дороги ($f_3^{\max}(a_3)$)	Загруженность трассы $f_4^{\max}(a_4)$
Маршрут 1	39,4	848	1	3
Маршрут 2	49,7	927	2	2
Маршрут 3	52,5	881	2	2
Маршрут 4	49,4	927	1	2

После нормирования, значения характеристик альтернативных маршрутов (критериев) принимают следующий вид (табл. 11).

Таблица 11

Нормированные значения характеристик альтернативных маршрутов

Маршрут	Цена перевозки ($f_1^{\max}(a_1)$), евро/т	Время перевозки ($f_2^{\max}(a_2)$), мин	Качество дороги ($f_3^{\max}(a_3)$)	Загруженность трассы $f_4^{\max}(a_4)$
Маршрут 1	0,96	0,85	2	1
Маршрут 2	0,76	0,93	1	1,5
Маршрут 3	0,72	0,88	1	1,5
Маршрут 4	0,77	0,93	2	1,5

Для определения степени значимости каждого показателя была составлена матрица парных сравнений, представленная в табл. 12 [4].

Таблица 13

Матрица парных сравнений

Критерий	Цена перевозки ($f_1^{\max}(a_1)$), евро/т	Время перевозки ($f_2^{\max}(a_2)$), мин	Качество доро- ги ($f_3^{\max}(a_3)$)	Загружен- ность трассы $f_4^{\max}(a_4)$	Сум- ма	q_j
Цена перевозки ($f_1^{\max}(a_1)$)	1	0	0	0	1	0,1
Время перевозки ($f_2^{\max}(a_2)$)	1	1	1	1	4	0,6
Качество дороги ($f_3^{\max}(a_3)$)	1	0	1	0	2	0,3
Загруженность трассы $f_4^{\max}(a_4)$	1	0	1	1	3	0,4

Итоговое значение критерия оптимальности для каждого варианта представлено в табл. 14.

Таблица 14

Итоговое значение критерия оптимальности

Маршрут	Критерий
Маршрут 1	1,62
Маршрут 2	1,57
Маршрут 3	1,54
Маршрут 4	1,85

Полученные результаты представлены в виде графиков на рис. 6.

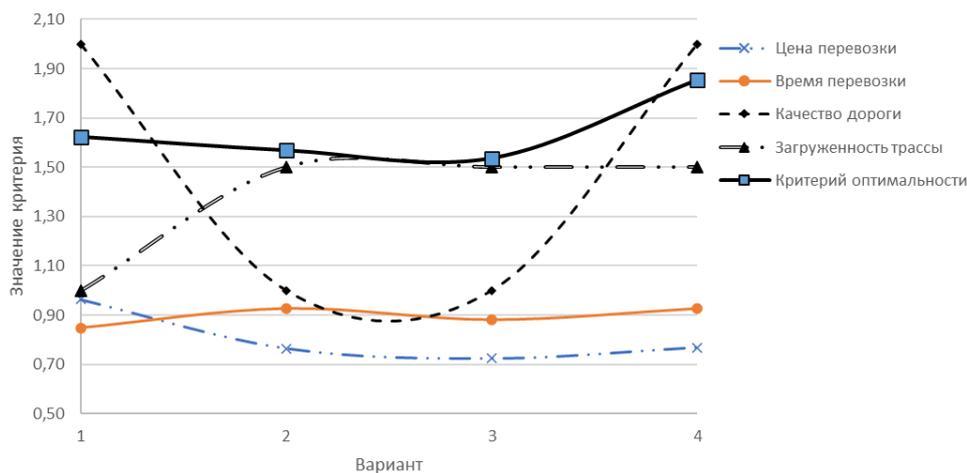


Рис. 6. Итоговое значение критерия оптимальности

Как видно из табл. 14 и рис. 6 значение критерия оптимальности принимает максимальное значение у варианта 4 (Вязьма – Резекне – Даугавпилс – Шауляй), соответственно он и является оптимальным.

Предложенный подход позволяет повысить эффективность деятельности транспортных компаний посредством оптимизации процесса формирования рациональных маршрутов грузовых перевозок.

Список литературы

1. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах / Л.Б. Миротин, В.А. Гудков, В.В. Зырянов, С.А. Ширяев и др.; под ред. Л.Б. Миротина. М.: Горячая линия – Телеком, 2010. 704 с.
2. Неруш Ю.М., Саркисов С.В. Транспортная логистика: Учебник для СПО. М.: Издательство Юрайт, 2019. 351 с.
3. Афанасьев М.Ю., Багриновский К.А., Матюшок В.М. Прикладные задачи исследования операций: Учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2006. 352 с.
4. Юхин А.И., Шафорост А.Н. Оптимизация транспортно-логистических процессов торгово-транспортной компании // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: Матер. междунар. науч.-практ. конф. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. С. 438-444.
5. Обоснование состава оборудования универсального уборочного комплекса на основе квалиметрической оценки / В.Ю. Анцев, П.В. Витчук, Н.А. Витчук [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 4. С. 464-469.

6. Повышение эффективности и качества бизнес-процессов проектно-строительной организации на основе внедрения механизмов параллельного инжиниринга / С.Ю. Шафорост, А.Н. Шафорост, В.Ю. Анцев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 9. С. 480-484.

7. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В., Пышный В.А. Учет сложности в задачах транспортного спроса // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 6. С. 66-78.

8. Аникеева О.В., Ивахненко А.Г. Совместные условия существования оптимальных решений и достижимости целей в области качества при скрытом управлении социально-экономическими системами предприятий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 2. С. 582-590.

9. Ивахненко А.Г., Аникеева О.В. Оптимальное управление при достижении целей в области качества промышленного предприятия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. Т. 23. № 4 (102). С. 18-26.

10. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.

Юхин Артем Игоревич, студент, nillnik010454@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Шафорост Александр Николаевич, канд. техн. наук, доцент, akar06@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Анцев Виталий Юрьевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, anzev@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Толоконников Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, tolokonnikov@list.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Горынин Алексей Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент, lexuss-22@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

OPTIMIZATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES OF A TRANSPORT COMPANY

A.I. Yukhin, A.N. Shaforost, V.Yu. Antsev, A.S. Tolokonnikov, A.D. Gorynin

The paper describes the methodology for forming the optimal route for commercial transport during the transportation of dangerous goods, which allows to increase the efficiency of the transport company by optimizing the process of forming transportation routes.

Key words: transport logistics, vector optimization, optimal route, matrix of paired comparisons, transportation tariff.

Yukhin Artyom Igorevich, student, nillnik010454@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Shaforost Alexandr Nikolaevich, candidate of technical science, docent, akar06@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Antsev Vitaliy Yurievich, doctor of technical science, professor, manager of department, anzev@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Tolokonnikov Alexandr Sergeevich, candidate of technical science, docent, tolokonnikov@list.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Gorynin Alexey Dmitrievich, candidate of technical science, docent, lexuss-22@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ СИСТЕМЫ ПОДРЕССОРИВАНИЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА

С.Ш. Саая, С.Ч. Монгуш, А.А. Чылбак, С.А. Войнаш, А.В. Теппов

В лесной отрасли механизация играет важнейшую роль для предприятия, поэтому требует создание высокопроизводительных тракторных и автомобильных машин и агрегатов. Система поддрессоривания лесохозяйственного трактора представлена в виде эквивалентной динамической модели, колебательные процессы которой описаны системой дифференциальных уравнений. Получены передаточные функции, определяющие колебательные процессы переднего и заднего мостов трактора, в зависимости от возмущающих воздействий со стороны дороги, а также составлена расчетная динамическая схема модели лесохозяйственного трактора К-701, которая зависит от конструкции и типа трактора. При составлении дифференциальных уравнений, описывающих колебания трактора, были приняты следующие допущения: трактор движется прямолинейно и равномерно; правые и левые колеса одновременно наезжают на недеформируемые неровности дороги и не отрываются от них; все элементы системы имеют линейные характеристики, а силы сопротивления в шинах считаются пропорциональными скорости перемещения. Отсюда цель данного исследования является определение динамических качеств системы поддрессоривания лесохозяйственного трактора, методом составления дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: трактор, движение, динамика, параметры, колебания, оптимизация.

Зимний сезон является наиболее благоприятным для лесотранспорта, так как прокладка зимних путей в лесу производится очень быстро и с незначительными затратами, а коэффициент сопротивления движению на зимних дорогах по сравнению с безрельсовыми летними значительно меньше. Из зимних лесовозных дорог наиболее распространены в настоящее время ледяные и улучшенно-снежные.

Пятилетняя практика эксплуатации показала, что наилучшими типами зимних дорог являются однокорейные ледяные. Однокорейная ледяная дорога при продолжительном зимнем сезоне дает возможность высокопроизводительно работать тракторному и автомобильному парку. Такая дорога проста, дешева по устройству и сооружается целиком из местных материалов. Производительность однокорейной ледяной дороги в 3-4 раза выше, чем других зимних дорог. Тракторы в ледяные дороги особенно удачно сочетаются со сплавными путями. В результате внедрения тракторно-ледяных дорог, удельный вес тракторной лесовывозки в общей программе вывозки из года в год повышается. Большая насыщенность лесозаготовок тракторами позволяет еще больше увеличить вывозку леса по однокорейным ледяным дорогам, где лучше всего используются сезонные преимущества зимних лесозаготовок.

За время движения по лесовозной дороге трактор подвергается значительному воздействию со стороны ее неровностей, вследствие чего, совершает колебательные процессы, интенсивность и характер которых зависят от поверхности дороги, режима движения, конструктивных параметров системы поддрессоривания. Колебания трактора оказывают вредное влияние на условия труда тракториста, динамическую нагруженность ходовой части, приводят к снижению производительности.

Одним из основных направлений по стабилизации колебаний трактора является исследование динамических качеств системы поддрессоривания с последующей оптимизацией ее конструктивных параметров. Для оценки уровня колебательных процессов, совершаемых трактором при движении, необходимо знать не только его динамические характеристики, но и характеристики источника возмущения, т. е. микропрофиля дороги, которые определяются длиной, высотой, формой и чередованием неровностей и являются случайной величиной, т.к. формируются под воздействием многочисленных факторов [1, 2].

Целью исследования является определение динамических качеств системы поддрессоривания лесохозяйственного трактора методом составления дифференциальных уравнений.

Объекты и методы исследования. Под действием случайных возмущений трактор будет совершать случайные колебания, расчёт которых возможен с использованием теории случайных процессов, если рассматривать осто́в трактора как стационарную линейную колебательную систему, на которую воздействует случайное возмущение.

При теоретических исследованиях колебаний трактора (ввиду сложности колебательной системы и трудоемкости расчета) ее упрощают, приводят несколько масс в одну, упругие элементы заменяют эквивалентными упругими связями [3, 4]. Поскольку в реальной системе всегда имеет место рассеивание энергии, то это также учитывается при составлении расчетной динамической схемы, которая зависит от конструкции и типа трактора.

На рис.1 представлена колебательная система, эквивалентная упрощенной модели колесного трактора К-701.

Как видно из рисунка, колебательная система трактора обладает большим количеством степеней свободы и является довольно сложной для проведения расчетов [5-7].

Одновременно изучение всех видов колебаний представляет большую трудность, и практически не всегда имеется в этом необходимость. Как правило, из всех колебаний выбирают основные, которые в большей степени оказывают влияние на исследуемые процессы [8-9].

Из теории поддрессоривания известно:

если у транспортной машины поддрессоренная масса симметрична относительно продольной плоскости, проходящей через центр тяжести вдоль оси, то колебания в поперечной и продольной плоскостях протекают независимо друг от друга и не вызывают других колебательных движений [10].

При составлении дифференциальных уравнений, описывающих колебания трактора, были приняты следующие допущения:

1. Трактор движется прямолинейно и равномерно.
2. Правые и левые колеса одновременно наезжают на недеформируемые неровности дороги и не отрываются от них.

3. Все элементы системы имеют линейные характеристики, а силы сопротивления в шинах считаются пропорциональными скорости перемещения [11-12].

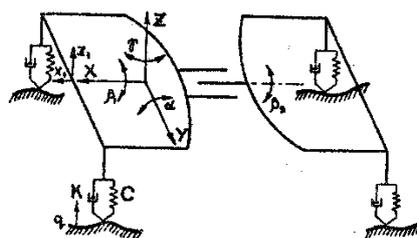


Рис. 1. Эквивалентная колебательная система поддрессоривания трактора

Результаты исследования и их обсуждение. С учетом принятых допущений дифференциальные уравнения колебания колесного трактора с неподдрессоренными мостами можно записать в следующем виде [8, 9].

$$M_1 \ddot{Z}_1 + 2K_{ш1} \dot{Z}_1 + 2C_{ш1} Z_1 + M_2 \ddot{Z}_2 = 2K_{ш1} q_1 + 2C_{ш1} \dot{q}_1 \quad (1)$$

$$M_2 \ddot{Z}_2 + 2K_{ш2} \dot{Z}_2 + 2C_{ш2} Z_2 + M_1 \ddot{Z}_1 = 2K_{ш2} q_2 + 2C_{ш2} \dot{q}_2,$$

где M_1, M_2 – массы трактора, приходящиеся на передний и задний мосты; $C_{ш1}, C_{ш2}$ – соответственно суммарные радиальные жесткости передних и задних шин; $K_{ш1}, K_{ш2}$ – соответственно суммарное неупругое сопротивление передних и задних шин; Z_1, Z_2 – вертикальные перемещения переднего и заднего мостов; q_1, q_2 – текущее значение ординат поверхности дороги в зоне контакта о колесами переднего и заднего мостов.

Если коэффициент распределения масс равен единице или близок к ней, то колебания передних и задних поддрессоренных масс можно считать практически несвязанными и независимыми друг от друга, а коэффициенты связи в дифференциальном уравнении, равняются нулю [4].

У тракторов "Кировец" коэффициент распределения масс близок к единице [1]. Поэтому система уравнений, описывающих колебания трактора, распадается на 2 независимых уравнения

$$M_1 \ddot{Z}_1 + 2K_{ш1} \dot{Z}_1 + 2C_{ш1} Z_1 = 2K_{ш1} q_1 + 2C_{ш1} \dot{q}_1 \quad (2)$$

$$M_2 \ddot{Z}_2 + 2K_{ш2} \dot{Z}_2 + 2C_{ш2} Z_2 = 2K_{ш2} q_2 + 2C_{ш2} \dot{q}_2 \quad (3)$$

После образования уравнений (2) (3) по Лапласу и ряда других обычных преобразований получим передаточные функции, определяющие колебательные процесс переднего и заднего мостов относительно входа $q(S)$ и выхода $Z(S)$ [2].

Для переднего моста:

$$W_1(S) = \frac{TS+1}{T^2+T_1S+1} \quad (4)$$

Постоянные времени T в выражении (4) обусловлены значениями $M_1, K_{ш1}, C_{ш1}$.

Для заднего моста передаточная функция имеет аналогичный вид, только постоянные времени будут определяться в зависимости от значений $M_2, K_{ш2}, C_{ш2}$.

По известным статистическим характеристикам микропрофиля дорог и квадрата модуля передаточной функции $A(|\omega|)^2$ можно определить статистические характеристики колебательных процессов мостов трактора:

$$S_z(\omega) = S_q(\omega)[A(\omega)^2] \quad (5)$$

Заключение. Таким образом, по заданным характеристикам неровностей лесовозных дорог, путем подбора оптимальных значений коэффициентов передаточной функции, можно выбрать наиболее оптимальные соотношения конструктивных параметров системы поддрессоривания, с целью снижения интенсивности колебательных процессов остова трактора и улучшения условий труда тракториста.

Предлагаемая методика может быть использована при отработке научно-обоснованных нормативов режимов эксплуатации и параметров безопасности лесохозяйственных тракторов.

Список литературы

1. Алабужев Н.М., Геронимус В.Б., Минкевич Л.М., Шеховцев Б.А. Теория подобия и размерностей. Моделирование. М.: Высшая школа, 1968. 206 с.
2. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.
3. Михайлов В.И., Федосов К.М. Планирование экспериментов в судостроении. Л.: Судостроение, 1978. 169 с.
4. Орловский С.Н., Карнаухова А.И. Агрегат для прокладки минерализованных полос // Строительные и дорожные машины, 2007. № 10. С. 23-24.
5. Фомин В.К., Фомина Г.В. Методика определения энергоёмкости процесса резания торфа дисковыми фрезами аналитическим методом // Торфяная промышленность, 1979. № 5. С. 9-13.
6. Карнаухова А.И. Лесопожарные агрегаты с торцовой фрезой. Концепция энергосбережения: монография для студентов, преподавателей, научных работников технических вузов; М-во образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВПО "Сибирский гос. технологический ун-т". – Красноярск: СибГТУ, 2011. 220 с.
7. Орловский С.Н., Карнаухова А.И. Теоретические предпосылки к обоснованию параметров и режимов работы роторных рабочих органов // Известия вузов. Лесной журнал. 2012. № 4. С.70-76.
8. Орловский С.Н. Определение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активных органов машинно-тракторных агрегатов: Монография. –Красноярск, КрасГАУ, 2011. 376 с.
9. Орловский С.Н., Комиссаров С.В., Карнаухова А.И. «Расчёт энергоёмкости резания лесных почв с подстилкой торцовыми фрезами и затрат мощности на резание и выполнение технологического процесса», («Fresa_p»).

Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007610363, заявка № 2006613951. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.01 2007.

10. Jones P. C., Hawkend J. H. Stump grinders. Austin: UT Press, 2014. 156 p.

11. Beniak J., Ondruska J., Cacko V. Design Process of Energy Effective Shredding Machines for Biomass Treatment // Acta Polytechnica. 2012. Vol. 52, No. 5. Pp. 133–137.

12. Teggin R., Kavadiatti S., Hebbal S. Design and fabrication of machine performing multiple wood working operations. Proceeding of NCRIET-2015 & Indian J.Sci.Res. 2015. V. 12. N 1. P. 162

Саая Сай-Суу Шолбановна, старший преподаватель, sai-suu2014@yandex.ru, Россия, Кызыл, Тувинский государственный университет,

Монгуш Сылдыс Чамбаевич, канд. техн. наук, доцент, mongush-syldys@yandex.ru, Россия, Кызыл, Тувинский государственный университет,

Чылбак Алдынай Александровна, канд. техн. наук, доцент, aldynay.chylbak@mail.ru, Россия, Кызыл, Тувинский государственный университет,

Войнаш Сергей Александрович, младший научный сотрудник, sergey.voi@mail.ru, Россия, Рубцовск, Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,

Теппов Алексей Викторович, канд. техн. наук, доцент, avt01@inbox.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет

STUDYING THE DYNAMIC QUALITIES OF THE SYSTEM SUSPENSION OF A FORESTRY TRACTOR

S.Sh. Saaya, S.Ch. Mongush, A.A. Chylbak, S.A. Voinash, A.V. Teppov

In the forestry industry, mechanization plays a vital role for the enterprise, and therefore requires the creation of high-performance tractor and automobile machines and units. The suspension system of a forestry tractor is presented in the form of an equivalent dynamic model, the oscillatory processes of which are described by a system of differential equations. Transfer functions were obtained that determine the oscillatory processes of the front and rear axles of the tractor, depending on the disturbing influences from the road, and a dynamic design diagram of the K-701 forestry tractor model was compiled, which depends on the design and type of tractor. When drawing up differential equations describing tractor oscillations, the following assumptions were made: the tractor moves linearly and uniformly; the right and left wheels simultaneously run over non-deformable road irregularities and do not come off them; all elements of the system have linear characteristics, and the resistance forces in the tires are considered proportional to the speed of movement. Hence, the goal of this study is to determine the dynamic qualities of the suspension system of a forestry tractor by drawing up differential equations.

Key words: tractor, movement, dynamics, parameters, vibrations, optimization.

Saaya Sai-Suu Sholbanovna, senior lecturer, sai-suu2014@yandex.ru, Russia, Kyzyl, Tuva State University,

Mongush Syldys Chambaevich, candidate of technical sciences, docent, mongush-syldys@yandex.ru, Russia, Kyzyl, Tuva State University,

Chylbak Aldynay Aleksandrovna, candidate of technical sciences, docent, aldynay.chylbak@mail.ru, Russia, Kyzyl, Tuva State University,

Voinash Sergey Alexandrovich, junior researcher, sergey.voi@mail.ru, Russia, Rubtsovsk, Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University,

Teppov Alexey Viktorovich, candidate of technical sciences, docent, avt01@inbox.ru, Russia, St. Petersburg, St. Petersburg State Forest Technical University

УДК 625.08
DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-549-550

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ ВАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА В ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИНАХ И ОБОРУДОВАНИИ

К.Г. Пугин, Н.К. Иванов, И.Э. Шаякбаров

В статье рассмотрены основные недостатки металлических валов, передающих крутящий момент. Обоснованы преимущества применения полимерных композиционных материалов в приводе транспортно-технологических машинах и оборудовании.

Ключевые слова: привод, вал, транспортно-технологические машины, композиционные материалы.

Качественный прорыв в создании новой техники требует от разработчиков выполнения комплекса мероприятий, направленных на достижение совокупности свойств машин, оборудования и их элементов – надежности, технологичности, эргономичности, дизайна, унификации и экологичности. В свою очередь, развитие транспортно-технологических машин и оборудования реализуется внедрением современных качественных и долговечных узлов, обеспечивающих лучшие показатели надежности.

В настоящее время современные машины состоят из сложной системы, включающей в себя множество деталей и сборочных единиц. При эксплуатации отказ любого элемента приводит к простоям и существенным затратам на восстановление. В связи с этим проблема надежности продолжает оставаться одной из самых главных, несмотря на постоянное улучшение показателей безотказности и долговечности комплектующих для транспортно-технологических машин [1-2].

Одним из основных ответственных элементов является привод, и поэтому от его надежности зависит эффективность и долговечность работы машины в целом. Привод транспортно-технологических машин – это система, состоящая из двигателя и связанных с ним устройств, предназначенных для передачи энергии от источника к исполнительному органу. При эксплуатации различных машин для передачи крутящего момента с одного вала на другой в приводе применяют эластичную муфту, состоящую из вала и фланцев. Данный вид муфты обеспечивает передачу необходимого момента при действии дополнительных нагрузок, вызванных несоосностью, осевым смещением, биением, неточностью сборки. В основном в эластичных муфтах применяют валы из металла [3].

Рассмотрим основные недостатки металлических валов, применяемых в транспортно-технологических машинах и влияющих на надежность всей системы в целом. Металлический вал обладает высокой продольной жесткостью материала, что является важным показателем при передаче крутящего момента. Данная жесткость приводит к возникновению пластической деформации на определенных режимах работы при действии постоянного вращения и приложении крутящего момента, что влечет за собой необратимое изменение структуры металла на отдельных участках вала. Указанные деформации вызывают вибрацию и передают ее на остальные элементы всей системы, что, в основном, приводит к выходу из строя подшипников при работах на высоких скоростях, а также преждевременному изнашиванию составных частей и появлению шума в приводе транспортно-технологических машин. Одновременно, при действии перегрузки, превышающей предел прочности материала на растяжение, металлические валы скручиваются и изгибаются. Также повышается склонность к зарождению концентраторов напряжения на некоторых участках.

Известны случаи выхода из строя металлического вала на таких оборотах, при которых совершается переход вала в резонанс вследствие чего он становится динамически неустойчивым. Таким образом, низкая критическая скорость металлического вала ограничивает создаваемое количество оборотов.

Применение в транспортно-технологических машинах металлического вала, обладающего повышенной массой, приводит к увеличению стоимости эксплуатации, ремонта и изготовления, в том числе и составных частей вследствие восприятия более высокой нагрузки.

При эксплуатации машин и оборудования возникает знакопеременная частота вращения вала в следствии постоянного действия различных нагрузок (старт, остановка, реверс, изменение режимов работы, переключение передач). Как известно, сопротивление данным нагрузкам является мера инертности тела при его вращательном движении. У металлических валов повышенный момент инерции в связи с прочностными характеристиками материала, что приводит к возникновению ударных нагрузок и увеличению действующих сил на другие составляющие системы.

В основном металлические валы в приводах машин работают в условиях наличия агрессивной среды: горюче-смазочные материалы, вода, перепады температур. Например, для передачи крутящего момента используются пары трения. В данном соединении возникают циклические возвратные перемещения в месте контакта. Наличие данных перемещений связано с знакопеременными усилиями, зависящими от значения передаваемого вращающего

момента и режима работы. Присутствие удельного давления в зоне контакта при трении сопрягающихся деталей и неблагоприятных агрессивных сред приводит к возникновению коррозии. Стоит отметить, что невозможность удаления и своевременного обслуживания (очистки) места контакта ускоряет процесс окисления [4].

Предлагается рассмотреть преимущества применения приводных валов из полимерных композиционных материалов. В машиностроении данные материалы находят широкое применение: кузовные элементы, несущие балки, стрелы, радиаторы. Однако, все больше различных силовых агрегатов и элементов транспортно-технологических машин для увеличения срока службы, эффективности и повышения надежности начинают изготавливать и ставить на серийное производство из композиционных материалов.

Композиционные материалы на основе эпоксидных, фенольных и полимерных связующих сочетают в себе высокую прочность с относительно небольшой плотностью, хорошую стойкость к динамическим нагрузкам и резким перепадам температур, высокую химическую стойкость. Высокопрочные стеклянные, угольные и базальтовые волокна обеспечивают прочность и жесткость композита, синтетические связующие придают материалу монолитность и заданную форму. Матрица способствует более эффективному использованию прочностных свойств армирующих волокон, создает протекторную защиту волокон от внешних воздействий, а также сама воспринимает часть усилий, развивающихся в материале при работе на сжатие. Кроме этого, целесообразно использовать комбинированные композиты, поскольку формообразующая часть конструкции может быть армирована стекловолокном, а наиболее нагруженная — содержать угольное волокно.

Наиболее популярными становятся изделия из композиционных материалов, полученные методом намотки. К подобным конструкциям могут быть отнесены различные оболочки вращения. Перспективным направлением является изготовление элементов, передающих крутящий момент в виде валов заданной длины и конфигурации. Такой интерес к изделиям из полимерных композиционных материалов обусловлен возможностью создания материалов с заданными физико-механическими характеристиками под конкретные эксплуатационные свойства на этапе проектирования и обработки. [5]

Независимые испытания продемонстрировали, что внедрение композиционного вала, вместо традиционного металлического, привело к ощутимому увеличению мощности на ведущих фланцах. Эта разница повышения мощности более чем на 5% обусловлена меньшей массой композиционного вала. Применение облегченного вала позволяет значительно оптимизировать передачу мощности от двигателя к ведущим исполнительным органам, снизить затраты на топливо и облегчить установку в транспортно-технологические машины.

В приводах транспортно-технологических машин используются валы, передающие большой крутящий момент. В то же время они подвержены воздействиям значительных нагрузок. При этом критически важным свойством является минимальная инерционность при одновременной достаточной прочности материала. Традиционно применяемые валы из стали и алюминия имеют относительно высокие моменты инерции, что может приводить к резким колебаниям скорости вращения при перепадах нагрузки. Это вызывает ударные нагрузки на привод, снижает эффективность и увеличивает износ составных частей. Композиционные приводные валы, выполненные из материалов на основе угле-, стекло- волокна, обладают существенно более низкими моментами инерции, чем металлические аналоги. Сравнительный анализ показывает, что композитные валы имеют момент инерции в несколько раз ниже, чем алюминиевые, и в более чем в два раза ниже, чем стальные. Преимущество меньшей инерции композиционных валов заключается в минимизации ударных нагрузок на привод при знакопеременных нагрузках, что позволяет снизить воздействие на шестерни, подшипники и муфты, продлевая срок их службы.

Как упоминалось ранее, валы работают в условиях наличия агрессивных сред, вызывающих коррозию. В свою очередь валы из композиционных материалов обладают высокой коррозионной стойкостью, что позволяет применять их практически в любых средах, подвергающихся негативным воздействующим эксплуатационным факторам.

При определенной критической скорости, свойственной каждому типу приводного вала, происходит изгиб вала, который создает боковое биение и вибрацию. Данные недостатки являются распространенной проблемой, которая может привести к следующим негативным последствиям: ограничение оборотов вала, повышенный уровень шума. В последние годы для решения данных проблем набирают популярность композиционные материалы. Они обладают рядом уникальных свойств, таких как высокая прочность на разрыв и изгиб при сравнительно низкой плотности, высокие демпфирующие свойства. Данные свойства делают их оптимальными для изготовления валов из композиционных материалов и позволяют поглощать ударные нагрузки, вызванные боковым биением и вибрацией, что положительно сказывается на долговечности составных частей и снижении резких скачков крутящего момента при различных режимах работы. Отмечено, что критическая скорость валов, выполненных из углеродного волокна намного больше, чем у валов из стали при одинаковых размерах. Это приводит к увеличению скорости вращения. Вместе с этим, благодаря использованию полимерных композиционных материалов приводные валы практически не подвержены пластической деформации, что обеспечивает их надежность при постоянном вращении. Кроме того, композитный вал обладает низкой чувствительностью к надрезам, трещинам и другим подобным дефектам, способным создать концентраторы напряжения [4, 6].

Необходимо обратить внимание, что для проектирования, изготовления и в конечном итоге внедрения композиционного вала в различные узлы транспортно-технологических машин и оборудования требуется проведение расчетов и испытаний связующего, материала, пакета слоев и натурального образца вала. Наиболее естественной и достоверной (т.к. основана на результатах испытаний) является методика послойной проверки прочности, несмотря на то, что полностью реализации упругих и прочностных свойств монослоя в составе пакета теоретически установить невозможно [7].

Соответственно необходимо проведение экспериментальных исследований как связующего, так и самого композиционного материала, а также проведения испытаний натуральных образцов вала. Так, для экспериментального подтверждения характеристик связующего проведены испытания полимерных матриц на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-20 и эпоксидной модифицированной смолы ЭДТ-10П. Основной характеристикой связующего является прочность на сжатие. Испытания проводились по ОСТ 92-1460-77 «Пластмассы теплозащитного и конструкционного назначения. Метод испытания на сжатие». Для экспериментального подтверждения характеристик композиционного материала проведены испытания угле-, стекло-, базальто- волокна. Основным параметром, характеризующим прочность конструкции из композиционных материалов, изготовленных методом намотки и применяе-

мом в дальнейшем как оболочка вращения, является предел прочности на растяжение, определяемый на кольцевых образцах. Испытания проводились по методике ОСТ 92-1473-78 «Пластмассы теплозащитного и конструкционного назначения. Метод испытания кольцевых образцов на растяжение».

В настоящий момент в «Пермском национальном исследовательском политехническом университете» проводятся расчеты и экспериментальные исследования натурального образца вала, изготовленного предприятием «WINDBROTHERS» (рисунок). Результаты испытаний связующего, композиционного материала и вала будут представлены после завершения всех исследований в следующей публикации.



Натурный образец композиционного вала, предназначенный для испытаний

Заключение. Представленные в статье преимущества валов из композиционных материалов обуславливают актуальность создания и внедрения данных валов для использования в приводах машин. Одновременно применение композиционного вала позволяет существенно повысить надежность и эффективность использования как существующих, так и создаваемых транспортно-технологических машин.

Список литературы

1. Надежность машин и механизмов: учебник / В. А. Черкасов, Б. А. Кайтуков, П. Д. Капырин [и др.]. М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. Москва: НИУ МГСУ, 2015. 272 с.
2. Абрамов А.Н. Эксплуатационная надежность технических систем: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2019. 120 с.
3. Иванов Н.К., Пугин К.Г. Применение валов из композиционных материалов в эластичных муфтах привода машин // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 9–10 ноября 2023 г.) / под ред. д-ра техн. наук Н.В. Лобова; ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2023. С. 15-19.
4. Тимошков П.Н. Трансмиссионные валы из углепластика. Материалы и технологии (обзор) / П. Н. Тимошков, А. В. Хрульков, Л. Н. Григорьева // Труды ВИАМ выпуск №8, 2020. С. 47-
5. Белецкий Е.Н. Специфика расчета элементов валопроводов, выполненных из композиционных материалов, с учетом направления армирования и физико-механических характеристик модификаторов матрицы // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2016. №6 (40). С. 113-120.
6. Практическая механика. Промышленные комплектующие. Анализ повреждений машинных валов [Электронный ресурс] URL: <https://old.prmeh.ru/pub/company/press> (дата обращения: 12.02.2024).
7. Карпов Я.С. Проектирование оболочек вращения из композиционных материалов: учеб. пособие / Я. С. Карпов, П. М. Гагауз. Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. 64 с.

Пугин Константин Георгиевич, д-р техн. наук, профессор, 123zzz@rambler.ru, Россия, Пермь, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова; Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

Иванов Никита Константинович, аспирант, nikitaivanov59@mail.ru, Россия, Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

Шаякбаров Ильнур Эльмарович, старший преподаватель, schayakbaoff.iln@yandex.ru, Россия, Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF METAL AND COMPOSITE SHAFTS USED FOR TORQUE TRANSMISSION IN TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES AND EQUIPMENT

K.G. Pugin, N.K. Ivanov, I.E. Shayakbarov

The article discusses the main disadvantages of metal shafts that transmit torque. The advantages of using polymer composite materials in the drive of transport and technological machines and equipment are substantiated.

Key words: drive, shaft, transport and technological machines, composite materials.

Pugin Konstantin Georgievich, doctor of technical sciences, professor, 123zzz@rambler.ru, Russia, Perm, Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov; Perm National Research Polytechnic University,

Ivanov Nikita Konstantinovich, postgraduate, nikitaivanov59@mail.ru, Russia, Perm, Perm National Research Polytechnic University,

Shayakbarov Ilnur Elmarovich, senior lecturer, schayakbaroff.iln@yandex.ru, Russia, Perm, Perm National Research Polytechnic University

УДК 629. 3

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-552-553

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

Ф.В. Камардин

Данная статья рассматривает специфику эксплуатации строительно – дорожных машин. Отмечено, что эффективность эксплуатации зависит от различных факторов, совокупность которых может отрицательно, или положительно повлиять на строительный процесс. В заключение оцениваются проблемы, и предлагаются варианты их решения в части обеспечения эффективности эксплуатации строительно – дорожных машин

Ключевые слова: строительно- дорожные машины, производительность, влияющие факторы, инновационные технологии, стандарты качества, эффективность эксплуатации.

Осознание эффективности эксплуатации строительно – дорожных машин является одним из ключевых условий динамического планирования работ на площадке и может рассматриваться как один из факторов устойчивости выполняемых работ. Повышение эффективности использования дорожно-строительных машин и других видов машин является основной задачей при их эксплуатации, обуславливающей рост производительности труда и темпов работ.

В состав парка дорожных машин для содержания автомобильных дороги прилегающих территорий общего пользования входят следующие группы машин и оборудование:

машины и оборудование для содержания земляного полотна, полосы отвода, водоотвода, кюветов и канав (экскаватор-планировщик, кусторез, косилка, оборудование для устройства дренажных прорезей, оборудование для посадки деревьев, опрыскиватель);

машины и оборудование для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий (асфальтоукладчик, фреза, каток, резчики асфальтобетона, автогудронатор, щебнераспределитель и др.);

оборудование для ремонта швов и трещин (заливчики швов и трещин, оборудование для очистки и разделки швов и трещин);

оборудование, используемое для ремонта покрытий, ограждений, искусственных сооружений (автогидро-подъемник для замены знаков и указателей, коленчатый автогидроподъемник для осмотра и ремонта мостов, силовой агрегат (компрессор, гидростанция, электростанция) с набором ручного инструмента, сварочный агрегат, бетономешалка и др.);

подметально-уборочные машины;

тротуароуборочные машины;

комбинированные дорожные машины (комбинированные уборочные машины) с плужным и щеточным оборудованием для снегоочистки, разбрасывателем противогололедных материалов, распределителем жидких реагентов, поливомоечным оборудованием, оборудованием для очистки и мойки ограждений, для прочистки труб;

специальные машины для зимнего содержания (роторные снегоочистители, снегопогрузчики, оборудование для уборки снега вблизи ограждений);

машины и оборудование многоцелевого назначения (автогрейдер, бульдозер, пневмокоток, автомобиль-самосвал, грузовой автомобиль с краном-манипулятором, колесный трактор с прицепом, экскаватор на колесном тракторе, фронтальный погрузчик);

универсальное шасси с набором сменного оборудования;

сменное оборудование к колесным тракторам (погрузочное, для зимнего содержания и др.).

Проблематике повышения эффективности эксплуатации строительно-дорожных машин посвятили свои труды такие авторы, как: Евтюков С.А., Зыбкин А.В., Кутузов В.В., Репин С.В., Рулис К.В., Тускаева З. Р. и другие. Как верно отмечают авторы, операционная эффективность играет ключевую роль, помогая руководителям строительных площадок поддерживать уровень производительности, необходимый для получения достойных результатов. Независимо от возраста машины, всегда существует необходимость надлежащего технического обслуживания, которое может обеспечить оптимальную эксплуатационную эффективность. Потребность в техническом обслуживании для парка строительно – дорожной техники всегда немного выше, чем для нового оборудования. Независимо от того, новые или старые машины, обеспечение их технических параметров поможет позволит достичь ожидаемых стандартов производительности. Производительность является решающим фактором успеха любого бизнеса, и строительная отрасль не является исключением. Когда эффективность вашей команды определяется несколькими переменными, важно знать, как ваш бизнес относится к каждой из них. Производительность строительно – дорожных машин - это один из элементов, который может создать или разрушить эксплуатационную структуру. Без хорошо функционирующего оборудования практически невозможно создать желаемый конечный продукт [2, с.144].

Несмотря на то, что в данной области у исследователей отсутствует единое мнение было установлено, что в научной литературе на текущем этапе выделены ключевые критерии обеспечения производительности строительно-дорожных машин. Производительность строительно- дорожных машин зависит от многих факторов, как постоянных (конструктивные свойства машины), так и переменных (степень использования технических возможностей машины, вид работ, производственные и организационные условия, квалификация машиниста и др.). В зависимости от учитываемых факторов различают конструктивно-расчетную (теоретическую), техническую и эксплуатационную производительности.

Также среди ключевых факторов, оказывающих влияние на эффективность эксплуатации строительно – дорожных машин следует выделить такие, как: погодные условия эксплуатации, топливная экономичность, надежность, степень износа, транспортная телематика, степень износа и т.д.

Погодные условия эксплуатации (мороз, снег, жара, дожди и т.д.) оказывают влияние на эффективность эксплуатации. В частности эксплуатация строительно – дорожных машин на севере в условиях мороза до 55 градусов, значительно отличается от их эксплуатации в центральной части России. Также особое влияние оказывает топливная экономичность машин: в условиях повышенного расхода топлива, строительно- дорожные машины эксплуатируются с учетом ограничения временного ресурса. Каждый компонент играет важную роль в поддержании общего состояния строительно-дорожных машин, обеспечивая лучшую производительность на рабочей площадке и достижение желаемых результатов [1, с.58].

Повышение надежности достигается за счет оптимизации процессов поиска отказов, предотвращения их появления и более полного использования ресурса машины, кроме того, надежность характеризуется такими показателями, как наработка на отказ, трудоемкость и стоимость технического обслуживания. Также эффективность эксплуатации зависит от степени износа машин. Строительно – дорожные машины выпущенные в начале 2000-х годов значительно уступают современным по производительности, экономичности, качеству работ и т.д. Транспортная телематика - еще один эффективный способ регулярного отслеживания производительности вашей машины и ее состояния. Плановое техническое обслуживание должно включать проверку состояния шлангов, ремней безопасности, шин, гусениц, датчиков и звуковых сигналов, сигнальных ламп и фонарей заднего хода, моторного масла, тормозов, трансмиссии, жидкостей тормозной системы и системы охлаждения, разъемов и соединительных устройств, выхлопных газов. системы, рулевое управление автомобиля, силовые кабели, навесное оборудование, лестницы и поручни.

Плановое техническое обслуживание строительно – дорожной техники позволяет следить за безопасностью оборудования и его надежностью. Основное внимание уделяется проверке каждого компонента оборудования для анализа безопасности эксплуатации. Еще один не менее важный фактор обеспечения эффективности эксплуатации строительно – дорожных машин это степень квалификации персонала. Например, даже если строительно дорожные машины полностью автоматизированы, и обладают высокой производительностью, то водитель – специалист, не обладающий нужными знаниями и квалификацией, не сможет ей управлять и соответственно добиться повышения эффективности эксплуатации. Также необходимо отметить, что, хотя при оценке производительности дорожно-строительных машин учитывается множество факторов, одним из наиболее важных и иногда упускаемых из виду факторов является техническое обслуживание машин. Машина чаще вызывает проблемы из-за отсутствия технического обслуживания, а не из-за реальных проблем.

Таким образом, существует множество причин, по которым при эксплуатации строительно – дорожных машин наблюдается снижение производительности [2, с.156].

Отсутствие обучения сотрудников приводит к дезорганизации рабочего места. Этот фактор может охватывать несколько различных аспектов работы — например, отсутствие обучения протоколам безопасности, управлению оборудованием или передовым методам связи. Независимо от того, с чем вы имеете дело, это повлияет на остальную часть проекта, если вы не решите проблему заранее. Даже самые квалифицированные работники нуждаются в периодической переподготовке, особенно если они работают с новым оборудованием. Правильный график технического обслуживания и ремонта, чаще всего рекомендованный производителем, необходим для поддержания бесперебойной работы машины. Остановка вашей работы для планового технического обслуживания неизбежно приведет к некоторому простоя, но лучше отреагировать профилактическим обслуживанием, чем реактивным ремонтом. Неэффективные методы управления. Нередко непродуктивные рабочие места возникают из-за неэффективности управленческих подразделений, даже если компания использует лучшие строительно дорожные машины и предлагает высококачественные учебные материалы и т.д [3, с.12].

Таким образом, для повышения эксплуатации строительно – дорожных машин необходимо: повышать эффективность планирования строительно – дорожных работ, вовремя осуществлять профилактическое обслуживание парка машин, обеспечивать постоянное повышение квалификации кадрового состава, использовать современные программные наработки по автоматизированному управлению парком строительно – дорожной техники. Подводя итог, необходимо отметить, что учет всей совокупности негативных факторов, и их нивелирование позволит повысить эффективность эксплуатации строительно – дорожных машин.

Список литературы

- 1.Кутузов В.В. Эффективность эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом изменения их технического состояния // Технология колесных и гусеничных машин. 2021. № 3. С. 57-64.
- 2.Решин С.В., Евтюков С.А., Зазыкин А.В., Рулис К.В. Надежность и эффективность эксплуатации наземные транспортно-технологических машин. Петрополис, 2020. 396 с.
- 3.Тускаева З. Р. Оценка экономической эффективности строительной техники // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. 2019. №10. С.12-14.

Камардин Федор Владимирович, аспирант, hurma-hurma@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

F.V. Kamardin

This article examines the specifics of the operation of road construction machines. It is noted that the efficiency of operation depends on various factors, the combination of which can negatively or positively affect the construction process. In conclusion, the problems are assessed and solutions are proposed in terms of ensuring the efficiency of operation of road construction machine.

Key words: road construction machines, productivity, influencing factors, innovative technologies, quality standards, operational efficiency.

Kamardin Fyodor Vladimirovich, postgraduate, hurma-hurma@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 531.383

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-554-555

РЕЗОНАНСНЫЕ РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ОСНОВАНИЯ

Д.Ю. Ершов, И.Н. Лукьяненко, Е.Э. Аман

В представленной статье предложено математическое моделирование резонансных явлений, развивающихся при функционировании электромеханической системы, на примере вибрационного измерителя угловой скорости на колеблющемся основании. Определены условия возбуждения резонансных колебаний и получены условия устойчивости стационарных движений измерителя. Полученные результаты могут использоваться при проектировании датчиков угловой скорости и для оптимизации их параметров.

Ключевые слова: угловая скорость, дифференциальное уравнение, вибрационный измеритель, устойчивый фокус, условие устойчивости, резонанс, режимы резонанса.

Резонансные режимы движения для различных электромеханических систем достаточно полно освещены в работах [1-4]. В статье предлагается разработка математического моделирования резонансных явлений в электромеханических системах, таких как вибрационные измерители угловой скорости на осциллируемом основании.

Вопросы теории вибрационного измерителя угловой скорости, основанной на линейных дифференциальных уравнениях движения измерителя, изложены в [5-10]. В данной статье исследуются нелинейные явления [11-15], возникающие при вибрациях основания измерителя угловой скорости. Определяются условия возбуждения нелинейных резонансных колебаний кольца (ротора гироскопа), исследуется устойчивость стационарных движений кольца и резонансные режимы движения [16-18]. Целью исследования является изучение резонансных явлений, возникающих при вибрации основания измерителя угловой скорости, а так же определения условий устойчивости стационарного движения измерителя и разработка рекомендаций для проектирования.

Объект исследования. Схема датчика угловой скорости, предназначенного для измерения проекций угловой скорости основания на две ортогональные оси, расположенные в плоскости, перпендикулярной оси вращения вала, изображена на рис. 1, а. Кольцо 1 установлено на подшипниках или крестообразно расположенных пружинах на оси 2. Ось 2 запрессована во фланец вала 3, приводимого во вращение электродвигателем 4.

Приведем уравнения движения измерителя. С основанием, на котором установлен прибор, свяжем систему координат $\xi\eta\zeta$. Положение осей $\xi\eta\zeta$ относительно неподвижной системы координат $\xi_0\eta_0\zeta_0$ определим углами ψ, ν, γ (рис. 1, б). С валом 3 свяжем оси $x_1y_1z_1$. Ось z_1 направим по оси вращения вала, ось y_1 — вдоль оси вращения кольца. С кольцом скрепим оси x, y, z . Угол поворота кольца вокруг оси $x_1(x)$ обозначим через α . Угловая скорость вала $\dot{\varphi}$ ($\dot{\varphi} = \Omega = const$). Обозначим через A, B и C моменты инерции кольца относительно осей x, y и z . Оси x, y, z будем считать главными осями инерции кольца.

Примем, что основание прибора совершает малые угловые вибрации относительно системы координат $\xi_0\eta_0\zeta_0$. Переменные $\psi, \nu, \gamma, \alpha$ и производные по времени от них будем считать малыми величинами порядка μ .

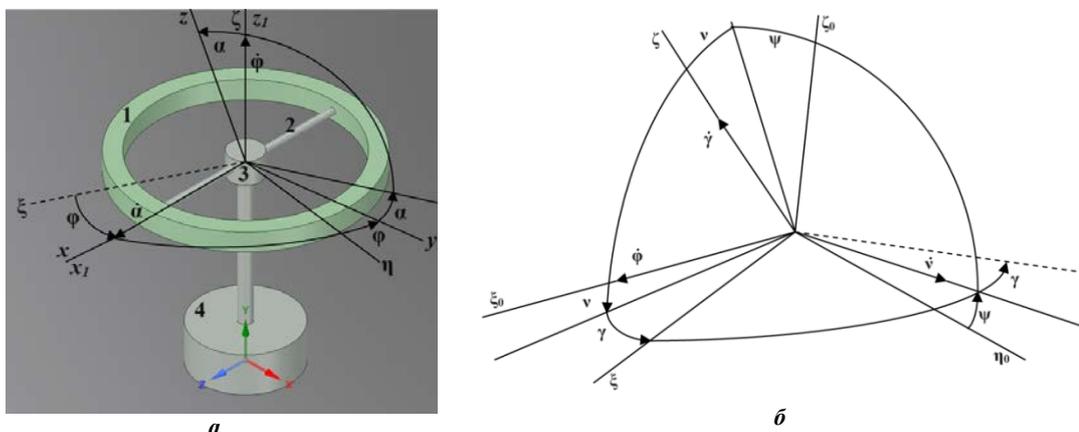


Рис. 1. К построению математической модели: а – схема датчика угловой скорости; б – привязка осей координат

Математическое моделирование. Дифференциальное уравнение движения кольца имеет вид

$$\ddot{\alpha} + n^2 \alpha = -\ddot{\psi} \cos \varphi - \dot{v} \sin \varphi + (1 + \chi) \dot{\varphi} (\dot{\psi} \sin \varphi - \dot{v} \cos \varphi) + \mu Q \alpha \quad (1)$$

$$\mu Q \alpha = \mu \left\{ \begin{array}{l} -2h\dot{\alpha} - (1 + \chi) \dot{\varphi} \gamma (\dot{\psi} \cos \varphi + \dot{v} \sin \varphi) - \\ - \cos \varphi \frac{d}{dt} \left[\dot{v} \gamma - \frac{1}{2} \dot{\psi} (v^2 + \gamma^2) \right] + \sin \varphi \frac{d}{dt} \left[\dot{\psi} \gamma + \frac{1}{2} \dot{v} \gamma^2 \right] - \\ - \chi \dot{\gamma} (2\dot{\varphi} \alpha - \dot{\psi} \sin \varphi + \dot{v} \cos \varphi) - \frac{1}{2} \dot{\varphi} \left[\dot{\psi} (v^2 + \gamma^2) \sin \varphi - \dot{v} \gamma^2 \cos \varphi \right] - \\ - \chi \left[-\frac{2}{3} \dot{\varphi}^2 \alpha^3 + 2\dot{\varphi} \alpha \dot{\psi} v + \alpha \gamma^2 + \alpha (\dot{\psi} \sin \varphi - \dot{v} \cos \varphi)^2 + \right. \\ \left. + 2\dot{\varphi} \alpha^2 (\dot{\psi} \sin \varphi - \dot{v} \cos \varphi) - \gamma \dot{\gamma} (\dot{v} \sin \varphi + \dot{\psi} \cos \varphi) - \right. \\ \left. - \dot{\psi} v (\dot{\psi} \sin \varphi - \dot{v} \cos \varphi) \right] \end{array} \right\},$$

где $n^2 = \frac{k_\alpha + (C - B) \dot{\varphi}^2}{A}$; $2\mu h = \frac{b_\alpha}{A}$; $\chi = \frac{C - B}{A}$; k_α — жесткость упругих опор кольца (при установке кольца на подшипниках $k_\alpha = 0$); b_α — коэффициент демпфирования.

Положим, что основание вибронного измерителя угловой скорости подвержено угловым колебаниям, определяемым выражениями

$$\psi = \psi_0 \sin(\omega_1 t + \delta_1), \quad v = v_0 \sin(\omega_2 t + \delta_2), \quad \gamma = \gamma_0 \sin(\omega_3 t + \delta_3). \quad (2)$$

Введем безразмерное время $\tau = nt$, обозначения $v = \frac{\Omega}{n}$, $v_i = \frac{\omega_i}{n}$, $i = 1, 2$ и представим уравнение (1)

в виде

$$\frac{d^2 \alpha}{d\tau^2} + \alpha = \psi_0 v_1^2 \sin(v_1 \tau + \delta_1) \cos v \tau + v_0 v_2^2 \sin(v_2 \tau + \delta_2) \sin v \tau + \\ + (1 + \chi) v \left[\psi_0 v_1 \cos(v_1 \tau + \delta_1) \sin v \tau + \right. \\ \left. + v_0 v_2 \cos(v_2 \tau + \delta_2) \cos v \tau \right] + \mu Q, \quad \mu Q = \frac{1}{n^2} \mu Q_\alpha \quad (3)$$

Решение уравнения (3) будем находить методом медленно меняющихся коэффициентов. При $\mu = 0$ уравнение (3) имеет решение

$$\alpha = a \cos \tau + b \sin \tau + c_1 \sin[(v - v_1)\tau - \delta_1] + c_2 \sin[(v + v_1)\tau + \delta_1] + \\ + c_3 \cos[(v - v_2)\tau - \delta_2] + c_4 \cos[(v + v_2)\tau + \delta_2] \quad (4)$$

где a, b — постоянные интегрирования; $c_i, i = 1, 2, \dots, 4$ определяются выражениями:

$$c_1 = -\frac{\psi_0 v_1 [v_1 - v(1 + \chi)]}{2[1 - (v - v_1)^2]}, \quad c_2 = \frac{\psi_0 v_1 [v_1 + v(1 + \chi)]}{2[1 - (v + v_1)^2]}, \\ c_3 = \frac{v_0 v_2 [v_2 - v(1 + \chi)]}{2[1 - (v - v_1)^2]}, \quad c_4 = -\frac{v_0 v_2 [v_2 + v(1 + \chi)]}{2[1 - (v + v_1)^2]}$$

При $\mu \neq 0$ решение уравнения (3) ищем в виде (4), но a и b будем считать функциями τ , полагая, что первая производная от a по τ имеет такой же вид, как при a и b постоянных. Уравнения, определяющие функции a и b , будут

$$\frac{da}{d\tau} = -\mu Q \sin \tau, \quad \frac{db}{d\tau} = -\mu Q \cos \tau, \quad (5)$$

Осреднив правые части полученных уравнений по τ за период 2π , получим приближенные уравнения

$$\frac{da}{d\tau} = -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \mu Q \sin \tau d\tau, \quad \frac{db}{d\tau} = -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \mu Q \cos \tau d\tau \quad (6)$$

Из уравнений (6) устанавливаем, что резонансные явления при движении измерителя угловой скорости на вибрирующем основании возникают при выполнении одного из соотношений

$$v_i = 1, \quad i = 1, 2, 3; \quad v_3 = 2; \quad v_1 \pm v_2 = \pm 2; \\ v \pm v_j = \pm 1, \quad j = 1, 2; \quad 2v \pm v_1 \pm v_2 = \pm 2. \quad (7)$$

Рассмотрим движение прибора в характерных резонансных случаях.

Резонанс $v_3 = 1$. Введем расстройку частот в соответствии с равенством $n^2 = \omega_3^2 (1 + 2\mu\epsilon)$. Обозначая

$v = \frac{\Omega}{\omega_3}$, $v_i = \frac{\omega_i}{\omega_3}$, $i = 1, 2$ и вводя безразмерное время $\tau = \omega_3 t$, приходим к уравнению (3), в котором

$\mu Q \alpha = -2\mu \varepsilon \alpha + \frac{1}{\omega_3^2} \mu Q \alpha$. Уравнения (6) в изучаемом случае принимают вид

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= -\left(\lambda + \frac{1}{4} \chi \gamma_0^2 \sin 2\delta_3\right) a + \left(\varepsilon - \frac{1}{4} \chi \gamma_0^2 \cos 2\delta_3\right) b \\ \frac{db}{dt} &= -\left(\varepsilon + \frac{1}{4} \chi \gamma_0^2 \cos 2\delta_3\right) a - \left(\lambda - \frac{1}{4} \chi \gamma_0^2 \sin 2\delta_3\right) b \end{aligned} \quad (8)$$

где $\lambda = \frac{h}{\omega_3}$.

Уравнения (8) имеют на плоскости ab особую точку $a^* = 0, b^* = 0$. Если параметры измерителя угловых скоростей и вибрации удовлетворяют неравенству

$$\lambda^2 + \varepsilon^2 - \frac{1}{16} \chi^2 \gamma_0^2 > 0 \quad (9)$$

особая точка (a^*, b^*) является устойчивым фокусом ($\varepsilon^2 \geq \frac{1}{16} \chi^2 \gamma_0^2$) или устойчивым узлом ($\varepsilon^2 \leq \frac{1}{16} \chi^2 \gamma_0^2$). При

выполнении условия, противоположного неравенству (9), особая точка (a^*, b^*) является особой точкой типа седло. Наступает явление резонанса, и развиваются интенсивные колебания ротора прибора. Из соотношения (9) следует, что увеличение коэффициента демпфирования (λ) и расстройки (ε) способствует устойчивости, увеличение μ и γ_0 способствует развитию исследуемого резонанса. При $\gamma(t) = 0$ резонанс не наблюдается.

Резонанс $v_3 = 2$. Полагая $n^2 = \frac{\omega_3^2}{4} (1 + 2\mu\varepsilon)$ и вводя обозначения $\nu = \frac{2\Omega}{\omega_3}, \nu_i = \frac{2\omega_i}{\omega_3}, i = 1, 2$,

$\tau = \frac{\omega_3}{2} t, \mu Q = -2\mu\varepsilon\alpha + \frac{4}{\omega_3^2} \mu Q \alpha$ снова приходим к уравнению (3). Уравнения (6) в рассматриваемом случае бу-

дут

$$\begin{aligned} \frac{da}{d\tau} &= -\left(\lambda + \frac{1}{2} \nu \nu_3 \chi \gamma_0 \cos \delta_3\right) a + \left(\varepsilon - \frac{1}{4} \nu \nu_3 \chi \gamma_0 \sin \delta_3\right) b \\ \frac{db}{d\tau} &= -\left(\varepsilon + \frac{1}{2} \nu \nu_3 \chi \gamma_0 \sin \delta_3\right) a - \left(\lambda - \frac{1}{2} \nu \nu_3 \chi \gamma_0 \cos \delta_3\right) b \end{aligned} \quad (10)$$

где $\lambda = \frac{2h}{\omega_3}$.

Условие устойчивости стационарного движения кольца вибрационного измерителя ($a = 0, b = 0$) в выражении (4) записывается в виде:

$$\lambda^2 + \varepsilon^2 \geq \frac{1}{4} \nu^2 \nu_3^2 \chi^2 \gamma_0^2 \quad (11)$$

При выполнении условия (11) особая точка $a^* = 0, b^* = 0$ уравнений (10) является устойчивым фокусом ($\varepsilon^2 \geq \frac{1}{4} \nu^2 \nu_3^2 \chi^2 \gamma_0^2$) или устойчивым узлом ($\varepsilon^2 \leq \frac{1}{4} \nu^2 \nu_3^2 \chi^2 \gamma_0^2$). Если выполнено условие, противоположное неравенству (11), особая точка $a^* = 0, b^* = 0$ уравнений (10) является особой точкой типа седло. Наступает явление резонанса.

Резонанс $\nu_1 + \nu_2 = 2$. Вводя расстройку частот в соответствии с выражением, $n^2 = \frac{(\omega_1 + \omega_2)^2}{4} (1 + 2\mu\varepsilon)$, обозначая $\nu = \frac{2\Omega}{\omega_1 + \omega_2}, \nu_i = \frac{2\omega_i}{\omega_1 + \omega_2}, i = 1, 2, \tau = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t$.

и выполняя вычисления аналогичные предыдущим, приходим к уравнениям:

$$\begin{aligned} \frac{da}{d\tau} &= (-\lambda + p)a + (\varepsilon + q)b, \quad \frac{db}{d\tau} = (-\varepsilon + q)a - (\lambda + p)b, \quad \lambda = \frac{2h}{\omega_1 + \omega_2}, \\ p &= \frac{1}{4} \chi \nu_1 \nu_0 \nu_0 \cos(\delta_1 + \delta_2) + \frac{1}{6} \chi \nu^2 (c_1 c_4 \cos \delta_1 \cos \delta_2 + c_2 c_3 \sin \delta_1 \sin \delta_2), \\ q &= -\left(c_1 c_4 - c_2 c_3 + \frac{1}{4} \chi \nu \nu_1 \nu_0 \nu_0\right) \sin(\delta_1 + \delta_2), \end{aligned} \quad (12)$$

Особая точка уравнений (12) совпадает с началом координат ($a^* = 0, b^* = 0$). Если параметры измерителя и вибрации таковы, что

$$\lambda^2 + \varepsilon^2 \geq p^2 + q^2, \quad (13)$$

особая точка $a^* = 0, b^* = 0$ является устойчивым фокусом ($\varepsilon^2 \geq p^2 + q^2$) или устойчивым узлом ($\varepsilon^2 \leq p^2 + q^2$). Если условие (13) не выполнено, особая точка $a^* = 0, b^* = 0$ является седлом, и наступает резонанс. Изученное явление происходит при колебаниях основания по углам ψ и ν .

Резонанс $2\nu + \nu_1 + \nu_2 = 2$. Положим, что $n^2 = \frac{(2\Omega + \omega_1 + \omega_2)^2}{4}(1 + 2\mu\varepsilon)$ обозначим, $\nu = \frac{2\Omega}{2\Omega + \omega_1 + \omega_2}$, $\nu_i = \frac{2\omega_i}{2\Omega + \omega_1 + \omega_2}$, $i = 1, 2$, $\tau = (2\Omega + \omega_1 + \omega_2)t$ и, выполнив вычисления, представим уравнения (6) в виде

$$\begin{aligned} \frac{da}{d\tau} &= (-\lambda + p)a + (\varepsilon + q)b, \\ \frac{db}{d\tau} &= (-\varepsilon + q)a - (\lambda + p)b. \end{aligned} \quad (14)$$

$$\lambda = \frac{2h}{2\Omega + \omega_1 + \omega_2}; \quad p = f \cos(\delta_1 + \delta_2); \quad q = -f \sin(\delta_1 + \delta_2);$$

$$f = -\frac{1}{16}\chi\nu_1\nu_2\nu_0\nu_0 - \frac{1}{3}\chi\nu^2c_2c_4 + \frac{1}{4}\chi\nu\nu_1\nu_0c_4 - \frac{1}{4}\chi\nu\nu_2\nu_0c_2.$$

Условие устойчивости стационарного движения кольца вибрационного измерителя имеет вид

$$\lambda^2 + \varepsilon^2 - f^2 \geq 0 \quad (15)$$

При выполнении условия (15) особая точка $a^* = 0, b^* = 0$ уравнений (14) является устойчивым фокусом ($\varepsilon^2 > f^2$) или устойчивым седлом ($\varepsilon^2 < f^2$). Если параметры измерителя и вибрации не удовлетворяют неравенству (15), особая точка $a^* = 0, b^* = 0$ является седлом, и развиваются интенсивные колебания кольца.

Заключение. В ходе исследования были изучены резонансные явления, возникающие при вибрациях основания измерителя угловой скорости, которые могут существенно повлиять на его функционирование. Так же были определены условия возбуждения резонансных колебаний, исследована устойчивость стационарных движений прибора. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании новых датчиков угловой скорости или при оптимизации существующих. Учет резонансных явлений позволяет выбрать оптимальные параметры прибора и обеспечить его надежную работу при колебаниях основания. Таким образом, полученные результаты являются важными дополнительными критериями для проектирования вибрационных измерителей угловой скорости.

Список литературы

1. Dmitry A. Tomchin, Olga P. Tomchina, Alexander L. Fradkov, Controlled Passage through Resonance for Flexible Vibration Units, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015, Article ID 839105, 8 pages, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/839105>
2. Параметрические колебания и контактное взаимодействие в компонентах микромеханических датчиков инерциальной информации / Яковлева Т.В., Крысько А.В., Кружилин В.С., Крысько В.А.. // Проблемы прочности и пластичности. Саратов, 2018, №1, с.63-71
3. A. L. Fradkov, D. A. Tomchin, and O. P. Tomchina, Controlled passage through resonance for two-rotor vibration unit, in *Mechanics and Model-Based Control of Advanced Engineering Systems*, A. K. Belyaev, H. Irschik, and M. Krommer, Eds., pp. 95–102, Springer, Wien, Vienna, 2014
4. J. M. Balthazar, B. I. Cheshankov, D. T. Ruschev, L. Barbanti, and H. I. Weber, Remarks on the passage through resonance of a vibrating system with two degrees of freedom, excited by a non-ideal energy source, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 239, no. 5, pp. 1075–1085, 2001
5. Вибрационные датчики угловой скорости / Коновалов С.Ф., Кулешов А.В., Носов Н.А., Подчерзцев В.П., Фатеев В.В., Фролов В.Н., Квон К.Б., Нам С.В. // Гирокоспия и навигация. М., 2004, №1 (44), с.107-118
6. Вибрационные датчики угловой скорости / Коновалов С.Ф., Кулешов А.В., Подчерзцев В.П., Фатеев В.В.. // Авиационное приборостроение, М., 2013, №12, с.43-60
7. Подчерзцев В.П., Нгуен Д.З. Теоретическое и экспериментальное исследование двухкомпонентного гирокоспического датчика угловой скорости в динамических условиях эксплуатации. // Академические чтения по космонавтике, М., 2023, с.185-187
8. Анализ существующих средств измерения вибрации / Баннов В.Я., Бростилов С.А., Калаев М.П., Мосеев А.П., Герасимова Ю.Е.. // Современные информационные технологии. 2016, №24, с. 28-31
9. Галкин В.И. Алгоритм расчета параметров роторного вибрационного гироскопа. // Сборник трудов Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции, Ковров, 2023, с.335-341
10. Боголюбов В.М., Бахтиева Л.У. О расширении функциональных возможностей микроэлектромеханической системы. // Технологические разработки и отладки сложных технических систем. Казань, 2020, с.39-45
11. Мартыненко Ю.Г., Меркурьев И.В., Подалков В.В. Управление нелинейными колебаниями вибрационного кольцевого микрогироскопа. // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2008, №3, с. 77-89
12. Меркурьев И.В., Подалков В.В. Исследование нелинейной динамики микромеханического гироскопа. // Нелинейная динамика машин SCHOOL-NDM 2017. М., 2017, с.82-91

13. Han T, Wang G, Dong C, Jiang X, Ren M, Zhang Z. A Self-Oscillating Driving Circuit for Low-Q MEMS Vibratory Gyroscopes. *Micromachines* (Basel). 2023 May 16;14(5):1057. doi: 10.3390/mi14051057. PMID: 37241680; PMCID: PMC10221486

14. Бахтиева Л.У., Боголюбов В.М. Модуляция демпфирования в роторных вибрационных гироскопах. // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. Казань, 2018, №4, с.86-90

15. Масштабный коэффициент волнового твердотелого гироскопа в режиме датчика угловой скорости / Маслов А.А., Маслов Д.А., Меркурьев И.В., Подалков В.В.. // Интегрированные навигационные системы. СПб., 2022, с. 189-192

16. Басараб М.А., Лунин Б.С., Колесников А.В. Численно-аналитическое решение дифференциального уравнения свободных колебаний упругого кольца при произвольном повороте основания. // Динамика сложных систем – 21век. 2020, том 14, №12, с.5-15

17. Лысенко И.Е., Коледа А.Н. Анализ чувствительности микромеханического гироскопа к вибрационным воздействиям. // Современные наукоемкие технологии. 2018, №12-1, с.95-101

18. Топильская С.В., Бородулин Д.С., Корнюхин А.В. Обеспечение стойкости к механическим воздействиям малогабаритного гироскопического измерителя вектора угловой скорости. // Космическая техника и технологии. М., 2018, №3(22), с.61-68

Ershov Dmitry Yuryevich, канд. техн. наук, доцент, fetcat@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,

Lukyanenko Irina Nikolaevna, канд. техн. наук, доцент, irina.n.lukyanenko@gmail.com, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,

Aman Elena Eduardovna, канд. техн. наук, anhelena7@gmail.com, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

RESONANCE MODES OF MOTION OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS DURING FOUNDATION VIBRATIONS

D.Y. Ershov, I.N. Lukyanenko, E.E. Aman

In the presented article the mathematical modelling of resonance phenomena developing at functioning of electromechanical system on the example of vibrating angular velocity meter on an oscillating base is proposed. The conditions of excitation of resonance oscillations are determined and the conditions of stability of stationary movements of the meter are obtained. The obtained results can be used for the design of angular velocity meters and for the optimisation of their parameters.

Key words: angular velocity, differential equation, vibration meter, stable focus, stability condition, resonance, resonance modes.

Ershov Dmitry Yuryevich, candidate of technical sciences, docent, fetcat@mail.ru, Russia, Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrument Engineering,

Lukyanenko Irina Nikolaevna, candidate of technical sciences, docent, irina.n.lukyanenko@gmail.com, Russia, Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrument Engineering,

Aman Elena Eduardovna, candidate of technical sciences, anhelena7@gmail.com, Russia, Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrument Engineering

УДК 629.3

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-558-559

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КОМПЛЕКТАЦИЮ ПАРКА КОММУНАЛЬНЫХ МАШИН

Ф.В. Камардин, С.А. Мотевич

В настоящее время комплектация парка коммунальных и строительно-дорожных машин основывается на расчетных методах определения потребности по объемам запланированных к выполнению работ. Однако, можно провести оптимизацию количества техники за счет рационального выбора методов комплектования и способов взаимодействия с поставщиками оборудования.

Ключевые слова: коммунальные машины, дорожные машины, строительные машины, риски, сезонность.

Современное состояние дорожно-строительной и коммунальной отраслей находится в состоянии, когда необходимо быстро и гибко реагировать на изменение ситуации и иметь возможность оперативно ликвидировать последствия аварий или неблагоприятных климатических событий. При этом отметим, что нормативные документы оговаривают достаточно жесткие сроки на выполнение этих работ. Таким образом, парк техники, который содержится в коммунальных хозяйствах должен быть скомплектован таким образом, чтобы иметь возможность выполнения ремонтно-восстановительных и подобных работ [1].

Выбор техники и те задачи, которые необходимо решать известны достаточно давно, и во многом они перекликаются с задачами, решаемыми при ремонте и поддержании дорожной инфраструктуры. Однако, коммунальные хозяйства имеют ряд своих особенностей, которые необходимо также учитывать [2, 3].

К таким особенностям можно отнести необходимость иметь определенное количество землеройной техники, которая должна иметь высокую маневренность и возможность перемещения по дорогам общего пользования. Например, к ним можно отнести экскаваторы-погрузчики второй размерной группы на базе пневмоколесных тракторов. Производителей такой техники достаточно много: МТЗ, Volvo, JCB и т.п. При примерном равенстве своих эксплуатационных характеристик они обладают различной надежностью, доступностью запасных частей и количеством доступного сменного оборудования. Добавим к этому санкционную политику ряда государств. В итоге на выходе мы получаем многофакторную оптимизационную задачу по выбору техники. И это при том, что мы сейчас говорим лишь только об одном виде машин.

Но решение задач коммунального хозяйства имеет достаточно много позиций, которые решаются различными средствами. Это и самосвалы, и катки, и мусоровозы, подметально-уборочные машины и большое количество другой техники [4, 5]. Всё это говорит о том, что необходимо выбрать общую концепцию формирования парка этими машинами, которая позволила бы избежать переплат и максимально эффективно расходовать городской бюджет.

На начальном этапе предлагается рассмотреть задачи, решаемые коммунальщиками в привязке к обслуживаемой площади населенного пункта, количеству проживающих жителей и сезонных факторов.

Понятно, что в зависимости от площади города будет зависеть и протяженность дорожного покрытия и тротуаров, а от количества населения – объемы бытовых отходов. Очевидно, что эти факторы будут оказывать самое прямое влияние на среднее количество техники, задействованной в решении ежедневных задач. Помимо этого, нужно учесть сезонность и климатические особенности региона, в котором расположен населенный пункт. Что тут имеется в виду, так это усредненные количественные показатели выпадения снежных осадков и продолжительность периода, в которые возможно их появление. Всё это накладывает определенные требования на количество снегоуборочной и пескоразбрасывающей техники и оборудования [6-8].

Однако, как показывает статистика прошедших сезонов, величины осадков от года к году варьируются в достаточно широких пределах. Причем, этот процесс очень сложно прогнозировать на долгосрочный период и в каком-то смысле его можно назвать стохастически непредсказуемым или даже спорадическим.

Всё это говорит о том, что применение обычных методов автокорреляции для определения потребности в технике является достаточно сложным процессом [9].

Поэтому предлагается подход, который бы в своей основе имел расчетную методику рисков возникновения той или иной ситуации и последствий от её возникновения. Что это даст в итоге – возможность гибкого управления с применением математического аппарата управления рисками и сведением их к разумным допустимым значениям.

И вот в этом случае возникает следующий вопрос, а что считать допустимым значением риска возникновения климатических или ещё каких ситуаций, которые влияют на жизнеобеспечение населенного пункта.

Понятно, что последствия стихийных воздействий могут быть самыми разными. От ухудшения дорожной обстановки до полного прекращения движения. Или нарушение теплоснабжения жизненно важных объектов городской инфраструктуры в холодное время года. Соответственно, для решения форс-мажорных ситуаций необходимо иметь решение, позволяющее ликвидировать её или снизить последствия в кратчайшее время.

На таком этапе можно рассмотреть несколько вариантов взаимодействия коммунальщиков при комплектовании своих хозяйств различной техникой.

Первый заключается в том, что парк машин комплектуется исходя из минимальных или средних потребностей по обслуживанию инфраструктуры населенного пункта, а в случае необходимости привлекаются службы МЧС или военных частей. В таком случае затраты на комплектование и содержание парка техники у коммунальных хозяйств являются минимальными с экономической точки зрения, но риски возможных последствия различных ситуаций возрастают, как и степень затрат на их ликвидацию.

Второй вариант основан также на комплектации машинами по средним потребностям и привлечении арендной техники в случае возникновения нештатной ситуации. В данном случае необходимо говорить о резерве денежных средств, а также наличии компаний и предприятий, которые бы имели нужную технику в гаражах и возможности получить ее в аренду на время ликвидации последствий той или иной ситуации. Риски такого подхода являются максимальными, так как надо быть уверенными в том, что нужная техника всегда будет доступна для аренды в кратчайшие сроки.

В третьем случае можно говорить о рациональном комплектовании парка машин коммунальных хозяйств, выбрав какой-то доверительный интервал и применив методы стохастического моделирования. Этот подход является самым сложным, так как вероятность наступления спорадических ситуаций достаточно велика и не все их можно учесть при математическом обосновании парка техники. Кроме этого, как было сказано выше, мало учитывать возможные ситуации, необходимо ещё поддерживать парк техники в исправном состоянии, что является также затратным.

Рассматривая, перечисленные варианты, отметим, что методы управления рисками являются достаточно изученными, поэтому, несмотря на сложность подхода, наиболее предпочтительными будут являться не один из них, а гибкое сочетание всех трех.

Но при этом необходимо учитывать ещё несколько моментов. При закупке выбранных типов техники, хозяйство будет неизбежно сталкиваться с вопросом выбора производителя. И вот тут появляется необходимость оценки амортизации машин, необходимости проведения их технического обслуживания и ремонта, возможных простоев из-за отсутствия запасных деталей и расходных элементов. Кроме технического аспекта выделим и человеческий фактор – это наличие квалифицированного персонала, задействованного на обслуживании и ремонте техники. Современные машины являются технически сложными изделиями. При этом производители стараются сделать так, чтобы работа с ними производилась не в гаражах автохозяйств, а исключительно в сертифицированных дилерских центрах. Наличие таких центров в городах часто будет являться определяющим параметром при выборе того или иного производителя техники.

Кроме того, важнейшим параметром будет являться производительность машины. Несмотря на то, что в данной области у исследователей отсутствует единое мнение было установлено, что в научной литературе на текущем этапе выделены ключевые критерии обеспечения производительности строительных машин. Производительность коммунальных машин зависит от многих факторов, как постоянных (конструктивные свойства машины), так и

переменных (степень использования технических возможностей машины, вид работ, производственные и организационные условия, квалификация машиниста и др.). В зависимости от учитываемых факторов различают конструктивно-расчетную (теоретическую), техническую и эксплуатационную производительности.

Также среди ключевых факторов, оказывающих влияние на эффективность эксплуатации коммунальных машин следует выделить такие, как: погодные условия эксплуатации, топливная экономичность, надежность, транспортная телематика, степень износа и т.д. Погодные условия эксплуатации (мороз, снег, жара, дожди и т.д.) оказывают влияние на эффективность эксплуатации. В частности, эксплуатация строительных машин на севере в условиях мороза до 55 градусов, значительно отличается от их эксплуатации в центральной части России. Техническое обеспечение городского обслуживания связано с большими материальными и финансовыми затратами и рассматривается как важнейший фактор эффективности содержания города, его рентабельности. Особую роль в данном случае играет поддержание эффективного технического состояния машин для нужд города и расходов в зависимости от возраста техники.

В итоге, мы пришли к трем этапам, решение которых позволит оптимизировать комплектование парка коммунальной техники.

Первый этап – это принятие стратегического решения по выбору одного из методов комплектования парка техники. Эти методы комплектования рассмотрены выше, но отметим, что существуют возможные варианты по сочетанию перечисленных методов. При дальнейшем анализе можно сравнить эффективность всех вариантов путем последовательного перебора в зависимости от наличия в населенном пункте или поблизости МЧС и военные части, а также организации, имеющие в своем парке необходимую технику и которые могут выдать ее в аренду.

Второй этап – это определение состава машин, потребных для выполнения коммунальных работ. Площадь населенного пункта, количество жителей, специфические климатические условия и частота выпадения различных осадков – всё это должно быть учтено в одной общей математической модели. Понятно, что в данном случае, необходимо говорить о каком-то стохастическом моделировании, поскольку детерминированный подход тут вряд ли возможен.

И на третьем этапе мы сталкиваемся с непосредственным выбором техники, которая бы обеспечивала решение требуемых задач, определенных на первых двух этапах. Тут мы учитываем цену, производительность, надежность, амортизацию, наличие и доступность запасных частей, возможность обслуживания, требуемую квалификацию операторов и обслуживающего персонала. Конечно, тут можно привести большое количество разнородных факторов, но для их учета можно воспользоваться методами аддитивной свертки критериев, которая позволит привести всё к единому коэффициенту и обосновать выбор [10, 11].

Таким образом, на выходе мы получаем многофакторную трехэтапную задачу, которая сводится к последовательному решению по ряду перечисленных критериев.

Список литературы

1. Репин С.В., Евтюков С.А., Зыскин А.В., Рулис К.В. Надежность и эффективность эксплуатации наземных транспортно-технологических машин. Петрополис, 2020. 396 с.
2. Тускаева З. Р. Оценка экономической эффективности строительной техники // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. 2019. №10. С.12-14.
3. Кутузов В.В. Эффективность эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом изменения их технического состояния // Технология колесных и гусеничных машин. 2021. № 3. С. 57-64.
4. Лутов Д. А. Повышение эффективности парка строительных машин // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы 68-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов; 15-17 апреля 2019. СПб.: СПбГАСУ, 2019. 221 с
5. Васильченко В.А., Соболев В.О. Техническое обслуживание гидропривода строительных, дорожных, коммунальных и лесозаготовительных машин // Строительные и дорожные машины. 2008. № 2. С. 36-40
6. Ерейский А.В., Исаков В.С., Телицин С.А. Теория, конструкции и расчет строительных, дорожных и коммунальных машин и оборудования // Инновации в науке - инновации в образовании. Материалы по итогам Международной научно-технической конференции "Интерстроймех-2013". 2013. С. 6-8.
7. Кузнецова А.Д., Потемкина Т.В. Методика совершенствования технического обслуживания на примере коммунальных машин для зимнего содержания дорог // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2016. № 4 (38). С. 32-35.
8. Цехош С.И. Обоснование критерия эффективности рабочего процесса коммунальной машины // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. 2019. С. 68-71.
9. Базилевский М.П. Оценивание параметров регрессионных моделей со стохастическими переменными по критерию детерминации-автокорреляции // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2017. Т. 1. С. 382-386.
10. Кравцов М.К., Янушкевич О.А. Линейная свертка критериев в бикритериальной оптимизации // Известия высших учебных заведений. Математика. 1998. № 12. С. 63-70.
11. Моор Д.А., Мухлисуллина Д.Т. Анализ эффективности различных сверток критериев оптимальности в задаче многокритериальной оптимизации // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. № 4. С. 7.

Камардин Федор Владимирович, аспирант, hurma-hurma@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Мотевич Светлана Анатольевна, магистрант, yeta.m231@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE CONFIGURATION
OF THE FLEET OF UTILITY VEHICLES

F.V. Kamardin, S.A. Motevich

Currently, the complete set of the fleet of utility and road construction vehicles is based on calculated methods for determining the need for the volume of work planned for completion. However, it is possible to optimize the amount of equipment due to the rational choice of acquisition methods and ways of interacting with equipment suppliers.

Key words: utility vehicles, road vehicles, construction vehicles, risks, seasonality.

Kamardin Fyodor Vladimirovich, postgraduate, hurma-hurma@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Motevich Svetlana Anatolyevna, master's, yeta.m231@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.87

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-561-562

**НЕНОРМАТИВНЫЕ ФАКТОРЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАК ПРИЧИНА РАЗРУШЕНИЯ
ОПОРНО-ПОВОРОТНЫХ УСТРОЙСТВ СТРЕЛОВЫХ САМОХОДНЫХ КРАНОВ**

Л.А. Сладкова, Н.Н. Воронин, В.В. Фокин

В процессе эксплуатации стреловых самоходных кранов производства Liebherr отмечен факт выхода из строя опорно-поворотного устройства раньше завершения срока службы крана. Его замена сопряжена с определенными логистическими трудностями, связанными с наложением санкций со стороны недружественных стран. Анализ конструктивных особенностей опорно-поворотных устройств стреловых самоходных кранов позволил выявить ненормативные факторы, ведущие к отказам этого значимого элемента конструкции.

Ключевые слова: ненормативные факторы, отказ, опорно-поворотное устройство, стреловой самоходный кран, конструкция, классификация.

Стреловые самоходные краны (ССК) относятся к машинам циклического действия и предназначены для ведения погрузочно-разгрузочных работ с возможным перемещением груза на небольшие расстояния [1, 2].

К одному из требований ГОСТ 22827-2020 [1] относится то, что в механизмах открытого типа, к которым относятся опорно-поворотные устройства ССК, следует предусматривать такие конструктивные решения, чтобы относительные смещения компонентов, возникающие в результате неточности изготовления и монтажа, а также упругие деформации металлической конструкции не приводили к снижению долговечности элементов механизма.

Рассмотрим значимость опорно-поворотного устройства в стреловых самоходных кранах в соответствии с их классификационными признаками.

Известными классификационными признаками ССК, отмеченными в нормативной документации, учебной и научно-технической литературе, являются [1 – 4] (рис. 1):

- грузоподъемность, т;
- тип ходового оборудования;
- назначение;
- число силовых установок;
- тип привода;
- количество и расположение кабин управления;
- конструкция стрелы;
- способ подвески стрелы;
- климатическое исполнение.

Опорно-поворотное устройство (ОПУ) является одной из основных и самой дорогостоящей частей кранов, включающей механизм поворота, конструкция которого зависит от типа привода, являющегося еще одним из классификационных признаков, указанного выше.

Опорно-поворотные устройства соединяют поворотную и неповоротную части крана.

По типу механизма поворота ОПУ различают:

- с червячным редуктором;
- с трехступенчатым планетарным мотор-редуктором;
- с цилиндрическим;
- с коническо-цилиндрическим редуктором;
- с гидравлическим мотор-редуктором типа МП.

Первые два типа механизмов широко используются в тележках башенных кранов ввиду их небольших габаритов. Коническо-цилиндрические редукторы нашли широкое применение в конструкциях пневмоколесных кранов. Они обеспечивают горизонтальное положение двигателя и тормоза при высоком КПД.

Гидравлические мотор-редукторы типа МП (рис. 2) чаще всего используются в механизмах поворота стреловых самоходных кранов.

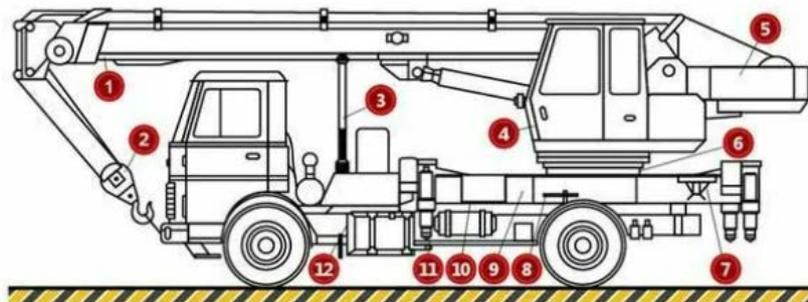


Рис. 1. Устройство стреловых самоходных кранов [4]: 1 – стрела; 2 – крюковая подвеска; 3 – стойка стрелы; 4 – кабина; 5 – поворотная рама; 6 – опорно-поворотное устройство; 7 – подпятник; 8 – механизм блокировки рессор заднего шасси; 9 – неповоротная рама; 10 – облицовка; 11 – аутригер (выносная опора); 12 – шасси автомобиля

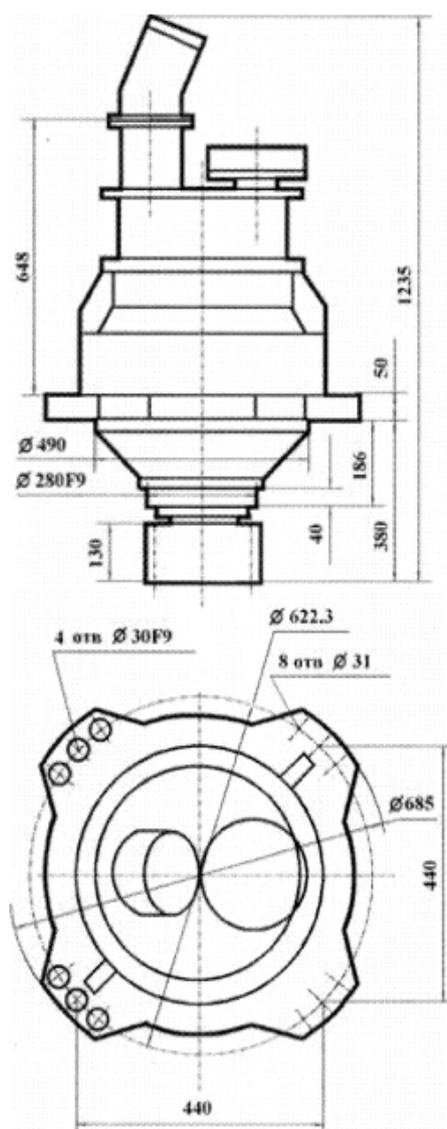


Рис. 2. Планетарный гидравлический мотор-редуктор МП-10 [4]

Опорно-поворотное устройство, соединяющее поворотную и неповоротную части крана, обеспечивает:

- вращение поворотной части крана;
- передачу вертикальной и горизонтальной нагрузок;
- передачу опрокидывающего и крутящего моментов с поворотной части крана на неповоротную.

Для этих целей используют поворотные круги (рис. 3), которые классифицируются по телам вращения на:

- роликовые (рис. 3, а, в, г, д);
- шариковые (рис. 3, б, е);
- смешанные (рис. 3, ж, з).

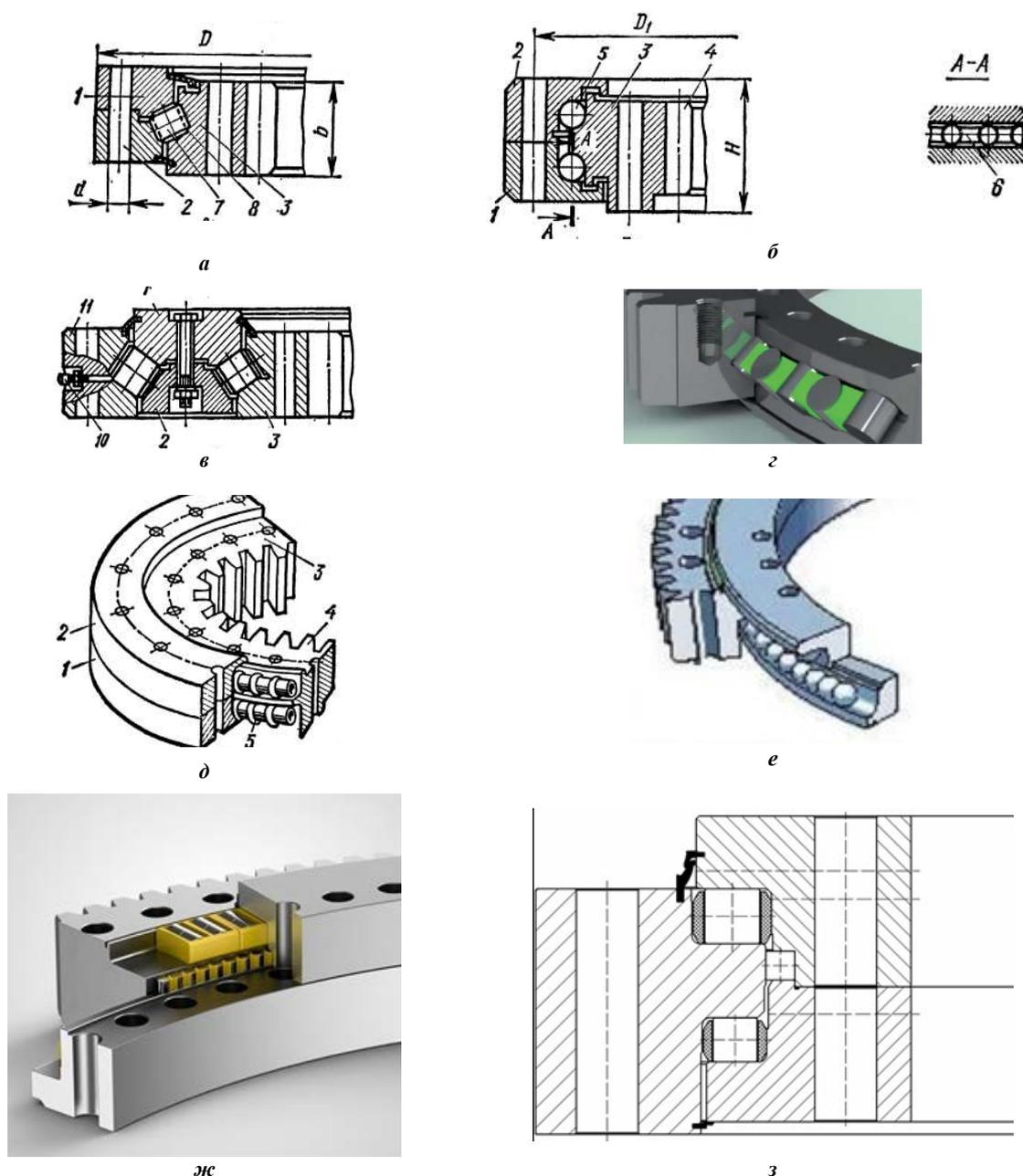


Рис. 3. Поворотные круги: а, в, г, д – роликовые; б, е – шариковые; ж, з – смешанные; 2, 3, 11 – разъемные кольца; 4 – зубчатый венец; 5 – тела качения; 6 – сепараторные втулки; 7, 8 – ролики; 9 – пальцы-цевки; 10 – пресс-масленка

В свою очередь они делятся на однорядные (рис. 3, а, г, е) и двухрядные (рис. 3, б, в, д, ж, з).

Результаты анализа технической литературы показывают, что опорно-поворотные устройства с шариковыми и роликовыми кругами имеют предпочтение перед другими, так как отличаются высокой степенью надежности и долговечности. Причем ОПУ с роликовыми однорядными кругами эффективнее, так как при небольших габаритных размерах и массе они обладают во многих случаях большей несущей способностью, чем двухрядные шариковые круги [4].

В роликовом однорядном круге ролики размещают в одном общем желобе крест-накрест (рис 3, г). При этом, например, один из роликов катится по одной паре дорожек качения, а следующий за ним ролик катится по второй паре дорожек.

На некоторых кранах фирмы Liebherr применяют трехрядные роликовые опоры.

Для кранов с грузовым моментом более 200 т·м применяют двухрядные роликовые (шариковые) круги, или многорядные круги смешанной конструкции, где часть рядов выполнена на шариках, а часть на роликах.

Чтобы предохранить дорожки качения и шарики (ролики) опорно-поворотных кругов от пыли и влаги, а также предотвратить вытекание масла, у шариковых кругов выполнены лабиринтные уплотнения, у роликовых – установлены кольцевые манжеты.

Для уменьшения трения между шариками укладывают короткие стальные сепараторные кольца б (рис. 3, б), либо пластмассовые втулки (рис. 4, г).

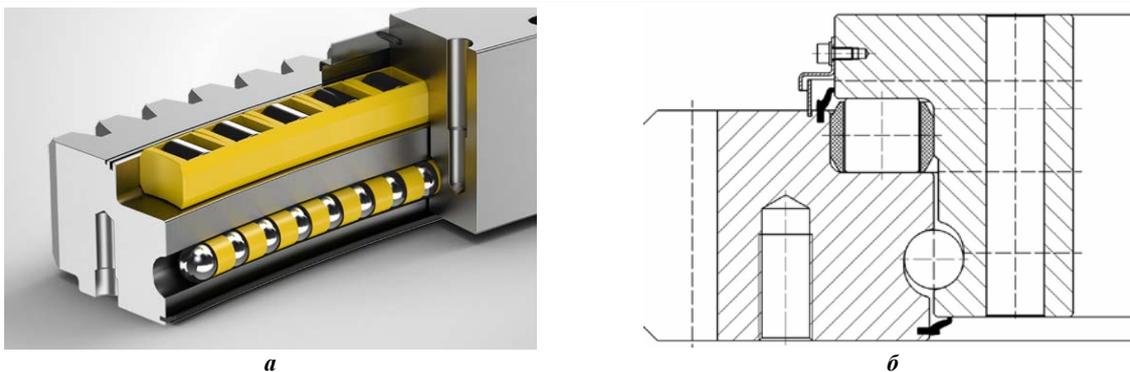


Рис. 4. Опорно-поворотные круги на кранах фирмы Liebherr: а – смешанного типа; б – графическое изображение

Круги для облегчения ремонтных работ выполняют из двух разъемных колец 1 и 2 (рис. 3), соединенных при помощи болтового соединения. При этом кольца 1 и 2 крепятся к поворотной части крана, а кольца 3 и 11 – к неподворотной части крана. На неподвижном кольце выполнен зубчатый венец 4, предназначенный для вращения крана.

На большинстве кранов для защиты от грязи, запыленности и для повышения надежности работы венцы выполняют с внутренним зацеплением. Помимо зубчатого зацепления на кранах круги выполняют с цевочным зацеплением. В этом зацеплении зубья заменены стальными пальцами-цевками 9, которые закреплены между двумя кольцами.

Разъемные кольца поворотных кругов выполняют из стали 55 по ГОСТ 1050-2013, шарики и ролики из стали ШХ15 или ШХ15СГ по ГОСТ 801-2022. Поверхности дорожек качения и зубьев подвергаются термообработке.

Автором патента [5] для снижения интенсивности износа роликов, направляющего рельса, цапфы и уменьшения энергоемкости двигателя привода механизма поворота предлагается внести изменение в конструкцию ОПУ заменой цилиндрических роликов на конические с размещением их большего диаметра с наружной относительно цапфы стороны. При этом оси роликов устанавливаются на поворотной части крана. Отношение наружного D_H и внутреннего D_B диаметров роликов автор предлагает оценивать по зависимости:

$$D_H/D_B = (2R + b)/(2R - b),$$

где R – радиус кольцевого рельса, м; b – ширина ролика.

При этом, нижний опорно-направляющий рельс для роликов выполнен с наклонной в наружную от цапфы сторону опорной поверхностью.

Авторы изобретения [6] с целью повышения несущей способности опорно-поворотного круга предлагают угол между соседними осями роликов выполнять равными $\beta = 90^\circ - 0,5\gamma$, где γ – угол конусности ролика (рис. 5).

Проведенный анализ позволил определить классификационные характеристики существующих ОПУ (рис. 6), что позволяет не только выявить ненормативные факторы, действующие на них, но и в дальнейшем внести конструктивные изменения в расчет эксплуатационных показателей.

Анализ характера отказов показал, что в процессе работы основными причинами отказов, которые легко оценивать по внешним признакам, являются:

- изнашивание шестерни поворотного круга при внешнем зацеплении;
- неравномерный износ по высоте зубьев поворотного круга;
- выдавливание и разрыв уплотнительных устройств и манжет;
- разрушение сепараторов и кассет.

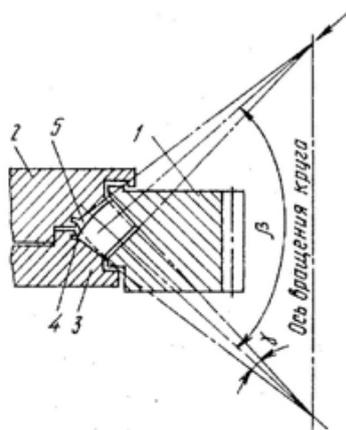


Рис. 5. Расположение роликов на ОПУ: 1 – неподвижное кольцо; 2, 3 – подвижные кольца; 4 и 5 – крестообразно расположенные ролики [6]



Рис. 6. Классификация ОПУ

Одной из основных причин указанных видов отказов является нарушение работы роликовых и шариковых опор, что ведет к изменению нагруженности на венец колеса поворотного круга и шестерню.

Очевидно, что при работе систем любого типа в условиях отрицательных температур, в пространство между контактирующими поверхностями, например, между шариками и сепаратором (роликами и кассетой), то есть между объемлемой и объемлющей поверхностью, образуются частицы конденсата, которые при действии отрицательных температур замерзают. Учитывая свойства воды к расширению при замерзании, между замерзшей частицей воды и поверхностями, которые изготавливаются, как правило, из медесодержащих материалов, возникают контактные напряжения, ведущие к деформации этих поверхностей в сторону увеличения размеров. Это ведет к нарушению работы системы, искажая, например, траекторию движения тел качения в обоймах и изменению формы обойм.

Таким образом, проведенный анализ конструктивных особенностей опорно-поворотных устройств стреловых самоходных кранов позволил выявить ненормативные факторы, ведущие к отказам этого значимого элемента конструкции.

Список литературы

1. ГОСТ 22827-2020. Краны грузоподъемные. Краны стреловые самоходные. Общие технические требования. М.: Стандартиформ, 2020. 20 с.
2. ГОСТ 27555-87 (ИСО 4306-1-85) Краны грузоподъемные. Термины и определения. М.: ИПК Издательство стандартов. 2004. 26 с.
3. Грузоподъемные машины: учеб. для вузов / М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов, Т.А. Никольская, В.С. Полковников. М: Машиностроение, 1986. 400 с.
4. РЕДУКТОР-М МП-10. Механизм поворота // ГК «Новые технологии». 2023. [Электронный ресурс] URL: <https://ctd.nt-rt.ru/price/product/101193> (дата обращения: 19.12.2023).
5. Патент 2529099 РФ. Опорно-поворотное устройство стрелового крана / Ю.Д. Тарасов. Оpubл. 27.09.2014. Бюл. № 27.
6. А.с. 1691279 СССР. Опорно-поворотный круг для грузоподъемных машин / М.П. Лохач, А.И. Гуревич, В.Л. Подкопаев., Ю.С. Черняков. Оpubл. 15.11.1991. Бюл. № 42.
7. Справочник машиностроителя / Под ред. С.В. Серенсена. В 6 т. Т 3. М.: Машгиз, 1962. 463 с.

Сладкова Любовь Александровна, д-р техн. наук, профессор, rich.cat2012@yandex.ru, Россия, Москва, Российский университет транспорта,

Воронин Николай Николаевич, д-р техн. наук, профессор, profvnn@mail.ru, Россия, Москва, Российский университет транспорта,

Фокин Валерий Владимирович, аспирант, valerafokin@inbox.ru, Россия, Москва, Российский университет транспорта

NON-STANDARD FACTORS OF OPERATION AS A CAUSE OF DESTRUCTION OF SLEWING SUPPORT DEVICES OF SELF-PROPELLED JIB CRANES

L.A. Sladkova, N.N. Voronin, V.V. Fokin

In the process of operation of Liebherr self-propelled jib cranes, the fact of failure of the slewing support device before the end of the crane's service life was noted. Its replacement is associated with certain logistical difficulties associated with the imposition of sanctions by unfriendly countries. The analysis of the design features of the slewing support devices of self-propelled jib cranes made it possible to identify non-standard factors leading to failures of this significant structural element.

Key words: non-normative factors, failure, slewing support, jib self-propelled crane, design, classification.

Sladkova Liubov Aleksandrovna, doctor of technical sciences, professor, professor, rich.cat2012@yandex.ru, Russia, Moscow, Russian University of Transport,

Voronin Nikolay Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, profvnn@mail.ru, Russia, Moscow, Russian University of Transport,

Fokin Valeriy Vladimirovich, postgraduate, rudevgl1@mail.ru, Russia, Moscow, Russian University of Transport

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.51; 331.1

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-566-567

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ИЕРАРХИИ КОМПЕТЕНЦИЙ ИНЖЕНЕРА-ТЕХНОЛОГА НА БАЗЕ МЕТОДА РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФУНКЦИЙ КАЧЕСТВА

А.М. Ковалева, А.И. Хаймович, Е.А. Колеганова

Статья посвящена разработке методики квалитетической оценки компетенций на базе метода разворачивания функций качества. Разработанная методика ранжирует компетенции на основе их интеграционной взаимосвязи с надпрофессиональными навыками. По итогам исследования была построена иерархия компетенций инженера-технолога на основе оценки руководства по критерию значимости для стратегического развития предприятия.

Ключевые слова: метод разворачивания функций качества, дом качества, ключевые компетенции, компетентностный подход, надпрофессиональные компетенции, должностные обязанности инженера-технолога, иерархия компетенций.

В условиях развитой конкурентной среды предприятиям необходимо постоянно совершенствовать технологии, товары и услуги, чтобы не отставать от мировых тенденций и успевать за желаниями потребителей. Успех деятельности организации во многом определяют его сотрудники, а точнее их компетентность. Изучение и развитие компетенций персонала является основой эффективного управления и позволяет достигать стратегические цели предприятия.

Для разработки плана развития персонала предлагается применить компетентностный подход, определив актуальный набор компетенций сотрудников и соотнеся их с желаемой картиной для рассматриваемой должности, что послужит основанием для стратегического управленческого воздействия по приближению к «эталонному» профилю компетенций сотрудника.

Целью настоящего исследования является адаптация и апробация известного метода управления качеством – разворачивание функции качества к задачам выявления ключевых компетенций персонала, способствующих его профессиональному росту и развитию предприятия в целом. Основой подхода к проблеме выявления ключевых компетенций является структурированная методика ранжирования, характерная для метода разворачивания функций качества, на основе перевода качественных показателей в количественные. Иерархия строится на основе оценки руководства по критерию значимости для стратегического развития подразделения предприятия.

Разработка методики. Разворачивание ил структурирование функции качества (QFD – Quality Function Deployment) – метод управления качеством, предназначенный для выявления связи между фактическими показателями качества продукта или услуги и их техническими характеристиками.

Метод реализуется посредством матричной диаграммы, названной «Дом качества», содержащей функциональные блоки [1], [2]: требования потребителя, их важность; сравнение с конкурентами; оценка технических характеристик и развитие целей; технические характеристики, необходимые для удовлетворения нужд потребителя; матрица взаимодействий между техническими характеристиками и требованиями потребителей; матрица корреляции технических характеристик; анализ технических характеристик аналогичной продукции, целевые значения и важность технических характеристик продукции.

Воспользовавшись методом разворачивания функций качества можно создать систему развития компетенций персонала организации. Тогда, по аналогии с «требованиями потребителя» в методе QFD можно рассмотреть компетенции персонала, а по аналогии с «характеристиками продукции» в методе QFD, обеспечивающими требуемые потребителем функции продукции, можно рассмотреть характеристики должности, необходимые для осуществления рабочего процесса. «Целевые значения» можно сопоставить с «эталонным» профилем компетенций сотрудника. В результате подобной оценки можно сформировать управленческие решения, способствующие развитию компетенций сотрудников.

Для учета тенденций развития индустрии промышленности при анализе компетенций инженера-технолога предполагается выявить интеграционную взаимосвязь между должностными обязанностями и надпрофессиональными навыками сотрудников при помощи метода разворачивания функций качества. Должностные обязанности инженера-технолога (технолога) представлены в «Квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и других служащих» [3]. Пул надпрофессиональных компетенций для анализа сформирован на основе данных, представленных в атласе новых профессий 3.0 [4], в котором определены наиболее важные для успеха в будущем навыки по мнению работодателей:

1) Мультиязычность и мультикультурность (владение иностранными языками, понимание специфики отрасли в других странах);

- 2) Технический кругозор (Т-share специалист, компетенции в смежных сферах знаний: материаловедение, электроника, прикладное программирование, робототехника, ЧПУ);
- 3) Клиентоориентированность (умение работать с запросами потребителей);
- 4) Управление проектами (лидерские качества, способность расставить приоритеты, способность сформулировать цель (целевые показатели), поставить задачи и обоснованно определить методы их решения для достижения цели);
- 5) Работа с информацией (способность быстро найти актуальную информацию из доступных ресурсов и грамотно интерпретировать ее для решения поставленной задачи);
- 6) Работа в режиме высокой неопределенности и быстрой смены условий задач (способность быстро принимать решения и реагировать на изменения, эффективно распределять свои ресурсы и управлять временем в условиях неполной информации, стрессоустойчивость);
- 7) Креативность (творческое мышление, способность решения задач нестандартными способами);
- 8) Работа с людьми (умение продуктивно общаться и взаимодействовать в процессе совместной деятельности, учитывать позиции других участников деятельности и эффективно разрешать конфликты, ведение переговоров);
- 9) Программирование ИТ-решений / управление сложными автоматизированными комплексами / работа с искусственным интеллектом;
- 10) Системное мышление (умения понимать, как устроены сложные системы, видеть взаимосвязи, находить причины, определять этапность задач для решения обозначенной проблемы);
- 11) Бережливое производство – подход к управлению производственным процессом, основанный на постоянном стремлении к устранению всех видов потерь;
- 12) Экологическое мышление (бережливое отношение к используемым природным ресурсам, уменьшение объема производимых отходов).[4]

На основании приведенных выше надпрофессиональных навыков была создана анкета, в которой опрашиваемому предлагается оценить связь каждой должностной обязанности с данными компетенциями по 3-х бальной шкале: 3 – сильная связь, 2 – средняя связь, 1 – слабая связь или отсутствие связи (далее данная шкала преобразуется в соответствии с весом связи: 9, 3, 1). Также опрашиваемому предлагается оценить важность предложенных компетенций для должности инженера-технолога и желаемую степень их развитости у сотрудников предприятия по 5-ти бальной шкале.

Согласно результатам данного анкетирования, строится «Дом качества» для выявления интеграционной взаимосвязи компетенций инженера-технолога. Данный «Дом качества» реализуется в виде матричной диаграммы, состоящей из функциональных блоков (рис. 1):

- блок 1а: надпрофессиональные компетенции;
- блок 1б: относительная важность компетенций;
- блок 2: анализ надпрофессиональных компетенций сотрудников;
- блок 3: целевые значения развития компетенций у сотрудников;
- блок 4: должностные обязанности инженера-технолога;
- блок 5: матрица взаимодействий;
- блок 6: матрица корреляции должностных обязанностей;
- блок 7: анализ должностных обязанностей инженера-технолога.

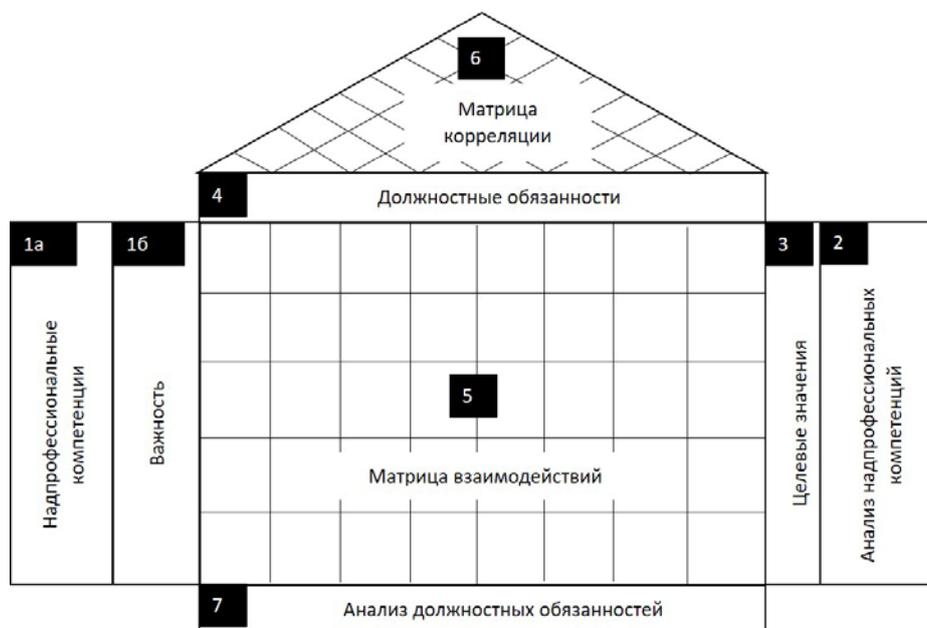


Рис. 1. Матричная диаграмма «Дом качества» для компетенций инженера-технолога

В матрице корреляции указывается положительное или отрицательное влияние должностных обязанностей друг на друга и определяется коэффициент корреляции. Коэффициент парной корреляции представляет собой число, характеризующее силу корреляционной взаимосвязи между элементами: -1 – отрицательная корреляция, 0 – отсутствие зависимости, +1 – положительная корреляция. Итоговый коэффициент корреляции определяется суммой

коэффициентов парной корреляции для данной должностной обязанности. Чем он больше, тем больше данная должностная обязанность связана с остальными, то есть ее развитие повлечет за собой развитие большего количества связанных с ней должностных обязанностей.

В рамках анализа надпрофессиональных компетенций рассчитаем их абсолютную и относительную важность. Расчет абсолютной важности выполняется перемножением числовых значений элементов матрицы взаимосвязи на оценку важности компетенции и суммированием полученных значений по строке. Таким образом, для *i*-ой надпрофессиональной компетенции абсолютная значимость рассчитывается по формуле (1):

$$A_{\text{нк}i} = a_i \cdot \sum_{j=1}^{16} x_{ij}, \quad (1)$$

где x_{ij} – элемент матрицы взаимосвязи; *i* – номер строки матрицы; *j* – номер столбца матрицы; a_i – оценка важности компетенции.

Для анализа должностных обязанностей инженера-технолога рассчитаем их абсолютную и относительную важность. Расчет абсолютной важности выполняется перемножением числовых значений элементов матрицы взаимосвязи на соответствующую оценку важности компетенции, суммированием полученных значений по столбцу. Таким образом, для *j*-ой должностной обязанности абсолютная значимость рассчитывается по формуле (2):

$$A_{\text{до}j} = \sum_{i=1}^{12} a_i \cdot x_{ij}, \quad (2)$$

где x_{ij} – элемент матрицы взаимосвязи; *i* – номер строки матрицы; *j* – номер столбца матрицы; a_i – оценка важности компетенции.

По итогам вычислений компетенции ранжируют и выявляют ключевые компетенции, на основании которых можно принимать обоснованные управленческие решения по профессиональному росту сотрудников и стратегическому развитию предприятия.

Построение иерархии компетенций. Для формирования представления о интеграционной взаимосвязи между должностными обязанностями инженера-технолога и надпрофессиональными навыками сотрудников было проведено анкетирование начальника лаборатории технологических проблем предприятия авиационной промышленности. Результаты анкетирования приведены на рис. 2 и в таблице.



Рис. 2. Итоги анализа надпрофессиональных компетенций

Полученные результаты (рис.2) необходимо анализировать в контексте специфики работы лаборатории технологических проблем, которая занимается проблемными местами в производстве и предлагает решения по их устранению. В данном случае мы видим, что для работы в такой лаборатории необходимы специалисты с широким кругозором в технической сфере, способные быстро и грамотно анализировать большие объемы информации и систематизировать ее. Из чего можно заключить, что при подборе специалистов в рассматриваемое подразделение необходимо сделать акцент именно на эти надпрофессиональные компетенции, ведь такой сотрудник будет более эффективен и конгруэнтен целям лаборатории.

Итоги иерархизации должностных обязанностей инженера-технолога на основании построения «Дома качества» приведены в таблице.

Статистический анализ результатов ранжирования должностных обязанностей в форме диаграммы размаха рангов (рис. 3) по данным таблицы показывает, что наиболее востребованные компетенции инженера-технолога должны обеспечить выполнение должностных обязанностей с 1 по 4 строки таблицы.

Ранжирование должностных обязанностей инженера-технолога по результатам анкетирования

Ранг	Должностные обязанности [3]	Относительная важность, %
1	2	3
1	Согласовывать разработанную документацию с подразделениями предприятия	9,69
2	Участвовать в разработке технически обоснованных норм времени (выработки), линейных и сетевых графиков, в отработке конструкций изделий на технологичность, рассчитывать нормативы материальных затрат, экономическую эффективность проектируемых технологических процессов	7,96
2	Вносить изменения в техническую документацию в связи с корректировкой технологических процессов и режимов производства	7,96
4	Разрабатывать технологические нормативы, инструкции, схемы сборки, маршрутные карты, карты технического уровня и качества продукции и другую технологическую документацию	7,46
5	Разрабатывать технические задания на проектирование специальной оснастки, инструмента и приспособлений, предусмотренных технологией, технические задания на производство нестандартного оборудования, средств автоматизации и механизации	6,85
6	Составлять планы размещения оборудования, технического оснащения и организации рабочих мест, рассчитывает производственные мощности и загрузку оборудования	6,40
7	Анализировать причины брака и выпуска продукции низкого качества и пониженных сортов, принимать участие в разработке мероприятий по их предупреждению и устранению, а также в рассмотрении поступающих рекламаций на выпускаемую предприятием продукцию.	6,29
8	Изучать передовой отечественный и зарубежный опыт в области технологии производства, разрабатывать и принимать участие в реализации мероприятий по повышению эффективности производства, направленных на сокращение расхода материалов, снижение трудоемкости, повышение производительности труда.	6,07
9	Осуществлять контроль над соблюдением технологической дисциплины в цехах и правильной эксплуатацией технологического оборудования.	5,68
10	Рассматривать рационализаторские предложения по совершенствованию технологии производства и давать заключения о целесообразности их использования	5,62
11	Проводить патентные исследования и определяет показатели технического уровня проектируемых объектов техники и технологии	5,46
12	Разрабатывать методы технического контроля и испытания продукции.	5,34
13	Участвовать в проведении экспериментальных работ по освоению новых технологических процессов и внедрению их в производство, в составлении заявок на изобретения и промышленные образцы, а также в разработке программ совершенствования организации труда, внедрения новой техники, организационно-технических мероприятий по своевременному освоению производственных мощностей, совершенствованию технологии и контролировать их выполнение	5,23
14	Принимать участие в разработке управляющих программ (для оборудования с ЧПУ), в отладке разработанных программ, корректировке их в процессе доработки, составлении инструкций по работе с программами	5,01
15	Участвовать в составлении патентных и лицензионных паспортов, заявок на изобретения и промышленные образцы.	4,79
16	Устанавливать порядок выполнения работ и пооперационный маршрут обработки деталей и сборки изделий	4,20

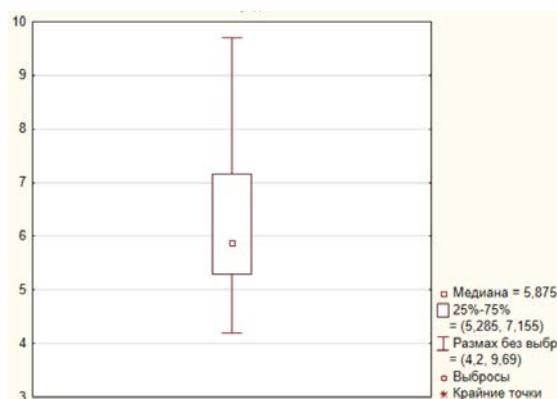


Рис. 3. Диаграмма размаха рангов должностных обязанностей.

Анализ интеграционной взаимосвязи должностных обязанностей инженера-технолога с надпрофессиональными навыками по данным QFD-анализа свидетельствует, что наиболее востребованные компетенции связаны с разработкой и сопровождением документации. Учитывая специфику работы лаборатории, можно предположить, что внедрение новых технологических решений требует большого количества согласований технической документации

связанных с адаптацией принимаемых технических решений под конкретные условия их реализации. Следовательно, для большей эффективности бизнес-процессов разработки и согласования, потребуются коррелирующие с этими процессами компетенции по анализу несоответствий существующих технологий и условий их обеспечения требованиям к продукции, т.е. необходимы компетенции в области навыков предиктивного анализа. Кроме того, изложенное позволяет прийти к выводу, что оптимизация и цифровизация документооборота будет способствовать сокращению «рутинных» процессов и высвобождению времени для развития и освоения других компетенций, что в дальнейшем приведет к развитию сотрудника и предприятия в целом.

Заключение. В результате проведенного исследования метод развертывания функции качества адаптирован к задачам выявления ключевых компетенций персонала и апробирован по производственной площадке. Разработанная методика рассматривает стандартные требования к инженеру-технологу в контексте пожеланий и ожиданий от сотрудников со стороны руководства. Методика позволяет перевести качественные требования в количественные, что позволяет ранжировать компетенции и выбрать приоритетное направление по развитию сотрудников, при выборе кандидатов на должность, в принятии управленческих решений, способствующих успешному функционированию подразделения.

По результатам проведенного исследования можно сформировать рекомендацию по пересмотрению существующих бизнес-процессов организации, а также внедрению в повседневную практику методик оценки компетентности сотрудников и динамики освоения новых компетенций, что поможет оценить эффективность принятых управленческих решений и деятельности предприятия в целом. [5] – [8]

Список литературы

1. Вашуков, Ю. А. QFD: разработка продукции и технологических процессов на основе требований и ожиданий потребителей [Электронный ресурс]: [метод, указания] / М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); Сост. Ю. А. Вашуков и др. Самара: СГАУ, 2012. 33 с.
2. A. Mohsin, Using the QFD Matrix as a Major Continuous Improvement Tool to Improve Organizational Quality / A. Mohsin, F. Padró, K. Trimmer // Research Anthology on Preparing School Administrators to Lead Quality Education Programs, 2021. P. 34.
3. Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих. Утв. Постановлением Минтруда России от 21.08.1998 N 37. Ред. от 27.03.2018.
4. Атлас новых профессий 3.0. / Под ред. Д. Варламовой, Д. Судакова. М.: Альпина ПРО, 2021. 472 с.
5. Ковалева А.М., Хаймович А.И., Колеганова Е.А. Разработка методики построения иерархии компетенций инженера-технолога на базе матрицы соответствия // Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. № 2. С. 72-78.
6. Ковалева А.М., Хаймович А.И., Калакова Е.С. Разработка основных принципов и методов оценки ключевых компетенций инженера-технолога // V Международная научно-практическая конференция "Производственные технологии будущего: от создания к внедрению". 2022. С. 432-434.
7. Ковалева А.М., Колеганова Е.А., Хаймович А.И. Разработка методики квалиметрической оценки компетенций на базе метода анализа иерархий // VI Всероссийская национальная научная конференция молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований». 2023. Ч. 3. С. 74-76.
8. Колеганова Е.А., Хаймович А.И., Ковалева А.М. Управление рисками заказного мелкосерийного производства // Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. № 4. С. 29-35.

Ковалева Анастасия Михайловна, аспирант, kovaleva.am@ssau.ru, Россия, Самара, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,

Хаймович Александр Исаакович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, a.i.khaimovich@ssau.ru, Россия, Самара, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,

Колеганова Екатерина Александровна, аспирант, koleganova.e@yandex.ru, Россия, Самара, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR BUILDING A HIERARCHY OF COMPETENCIES OF A A PROCESS ENGINEER ON THE BASIS OF THE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

A.M. Kovaleva, A.I. Khaimovich, E.A. Koleganova

The article is devoted to the development of a methodology for qualimetric assessment of competencies on the basis of the quality function deployment method. The developed methodology ranks competencies according to their integration relationship with over-professional competencies. As a result of the study, a hierarchy of competencies of a process engineer was built based on management's assessment of the criterion of significance for the strategic development of the enterprise.

Key words: quality function deployment, house of quality, key competencies, competency-based approach, over-professional competencies, job responsibilities of a process engineer, hierarchy of competencies.

Kovaleva Anastasia Mikhailovna, postgraduate, kovaleva.am@ssau.ru, Russia, Samara, Samara National Research University,

Alexander Khaimovich, doctor of technical sciences, professor, head of chair, a.i.khaimovich@ssau.ru, Russia, Samara, Samara National Research University,

Ekaterina Koleganova, postgraduate, koleganova.e@yandex.ru, Russia, Samara, Samara National Research University

ЭВОЛЮЦИЯ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Т.А. Новикова, Е.В. Ляпунцова

В настоящей работе рассмотрена история развития подходов к управлению качеством продукции машиностроения в общем, и продукции автомобилестроения, в частности. В первой части статьи определено понятие качества, сформулированное специалистами данной области, а также приведено понятие качества, представленное в стандарте ISO 9000. В исследовании показано, как менялось представление о качестве до становления управления качеством как самостоятельной дисциплины. Во второй части статьи в хронологическом порядке описаны шесть этапов развития подходов к управлению качеством во всем мире. Первый этап – механический – был связан с такими специалистами, как Ф. Тейлор, Г. Форд, С. Кольт, Г. М. Леланд. На втором этапе – управленческом – стали применяться статистические системы контроля качеством. На третьем этапе, связанным с такими именами, как А. Файгенбаум и Э. Деминг, была предложена система всеобщего контроля качества (англ. Total Quality Control, TQC). На четвертом этапе К. Исикава продолжает развивать статистические методы оценки качества, а Д. Джуран разрабатывает философию управления качеством – «Трилогию качества». Пятый этап характеризуется созданием национальных стандартов качества. На шестом этапе происходит распространение и признание концепции TQM во всем мире. Кроме того, в статье выделены периоды становления отечественной системы управления качеством.

Ключевые слова: система всеобщего контроля качества, автомобилестроение, стандарты, статистические методы оценки качества.

Введение. Технологическая основа современной цифровой экономики формируется на базе достижений четвертой промышленной революции, или Индустрии 4.0. Автомобилестроение является инновационной отраслью промышленности, и автопроизводители в современных условиях активно модернизируют производственные процессы в контексте цифровой трансформации.

Автомобильная промышленность является одной из ведущих отраслей машиностроения индустриально развитой страны, ключевой задачей которой является повышение качества выпускаемой продукции, а следовательно, и повышение конкурентоспособности предприятия.

Определение понятие качества. Приведем некоторые понятия качества, которые были сформулированы основными учеными и специалистами этого направления.

Американский статистик Уолтер Эндрю Шухарт определил понятие качества следующим образом: «Качество имеет два аспекта: объективные физические характеристики и субъективные – насколько вещь «хороша» [1].

В свою очередь, специалист в области управления качеством Каору Исикава под качеством понимал «свойство, реально удовлетворяющее потребителей» [1].

Американский ученый Уильям Эдвардс Деминг приводит следующее определение качества: «удовлетворение клиента сверх ожиданий», а его последователь Джозеф Джуран определил качество как систематический метод, который стремится к совершенству [2].

Филипп Кросби считал, что «качество – это соответствие условиям, и для улучшения качества необходимо соблюдать три основных этапа, такие как настойчивость, образование и практика» [2].

В настоящее время используется определение качества, представленное в стандарте ISO 9000-2015, *качество* – степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям [3].

Подходы к управлению качеством. Принято считать, что первые признаки управления качеством были заложены при строительстве пирамиды в Гизе [4]. Согласно мнению ученых, материалы и инструменты были подготовлены с такой высокой точностью, которую невозможно достичь без единообразной системы качества. Вторым признаком появления первых концепций управления качеством можно считать Законы Хаммурапи. Согласно данному документу в случае, если построенное здание разрушается и погибает его владелец, строитель должен понести наказание в виде лишения жизни. Таким образом, в рассматриваемом законе появляется понятие ответственности за выполненную работу.

До периода Средневековья в Европе большое влияние оказала культура Древней Греции и Древнего Рима [4]. В эпоху Древней Греции развивались такие направления как искусство, философия, системы правосудия и др. В свою очередь в период Римской империи была разработана уникальная система строительства. Таким образом, можно предположить, что в рассматриваемый период у греков и римлян было базовое понимание основ обеспечения качества в различных областях науки.

Период Средневековья можно назвать Эпохой Мастерства. В этот промежуток времени квалифицированные мастера производили большой ассортимент изделий из кожи и металла [4]. Группы ремесленников образовывали специальные союзы – гильдии, которые могли выступать инспекторами в области качества. Следует отметить, что знания о том, как производить качественную продукцию, в этот период передавались от мастера к ученику.

Следующей важной вехой в истории качества стала Промышленная революция. Переход от аграрного к индустриальному обществу требовал разработки и внедрения на производство различных машин и механизмов: ткацких, прядильных, фрезерных, токарных и пр. станков. Процесс индустриализации предусматривал следование локальным системам обеспечения качества.

Управление качеством как самостоятельное направление со своими методами, принципами и терминологией появилось в начале 20 века [5]. В процессе формирования и развития данной сферы принято выделять 6 этапов, каждый из которых связан с конкретными специалистами.

На **первом этапе**, механическом, в каждом производственном подразделении был предусмотрен свой устав, ответственность за дефекты лежала на рабочих, а основное внимание уделялось входному-выходному контролю качества. Ф. Тейлор, Г. Форд, С. Кольт, Г. М. Леланд – личности, оказавшие наибольшее влияние на данный период.

Некоторые специалисты первый этап называют этапом отбраковки, так как в этот период появилось понятие калибра – контролирующего предельного размера (допуска) [6]. Считается, что впервые данный параметр был применен на оружейных заводах **Кольта** в конце 19 века. Мушкетеры собирались не из специально подогнанных деталей, а из случайных, т.е. взаимозаменяемых элементов. Кроме того, на заводах была создана группа контролеров, которые с помощью калибров осуществляли выходной контроль и отбраковку готовых изделий.

Большой вклад в развитие систем качества в автомобилестроении внес американский промышленник **Леланд**, который впервые применил понятия проходного и непроходного калибра при производстве автомобилей. Кроме Леланда большое влияние на формирование систем качества в промышленности оказал **Форд**. В 1913 году он впервые применил конвейер при производстве автомобилей [6]. Заслуга Форда состоит в создании службы технического контроля и изменении системы отбраковки деталей: вместо входного контроля комплектующих, необходимых для сборки конкретного узла, стали применять выходной контроль этих комплектующих на рабочих местах, где они производились.

В результате обобщения достижений Леланда и Форда, в 1905 году **Тейлором** была разработана концепция управления и организации машиностроительного предприятия. Можно выделить следующие основные принципы данной концепции: обеспечение качества реализуется для каждого конкретного изделия с помощью нижних и верхних полей допусков; рабочие должны выполнять технические и производственные нормы, установленные инженерами; для осуществления технического контроля необходимо нанимать отдельных специалистов в области качества – инспекторов; в систему обучения рабочих следует включить работу с измерительным оборудованием; мотивация рабочих должна предусматривать поощрение за качественно произведенную продукцию и штраф – за брак [7]. Таким образом, Тейлор положил начало формированию системного подхода к обеспечению качества и показал, что эффективность производства может быть увеличена с помощью грамотной организации труда.

Второй этап – управленческий – 20-40 годы 20 века. На предприятиях стала активно внедряться система Тейлора и впервые применяться статистические методы контроля качества. Ответственность за готовую продукцию теперь возлагалась на мастера, а не на рабочих.

Система Тейлора была направлена на обеспечение качества конкретного изделия. На втором этапе развития систем качества стало понятно, что для создания однотипных изделий применяются одинаковые производственные процессы. Следовательно, целесообразно разработать методы, направленные на управление качеством процессов, а не готовых изделий. Специалистом, оказавшим большое влияние в данный период, был американский инженер **У.Э. Шухарт**, который в 1925 году предложил визуальный инструмент управления производственными процессами – контрольные карты Шухарта [8]. С помощью данного графического средства можно установить выбросные значения производственного процесса и определить характер данной вариативности: системный или случайный. Таким образом, контрольные карты позволяют предсказывать поведение рассматриваемой величины, на основе значений предыдущих периодов. Следовательно, во втором периоде акцент с выявления дефектов был перемещен на возможность их предупреждения и нивелирования на основании анализа и управления производственными процессами.

Третий этап начался с конца 40-х годов 20 века и был связан с такими именами как А. Файгенбаум и Э. Деминг. В данный период появляются специализированные инспекции, которые несут ответственность за качество выпускаемой продукции. В 1951 году **Файгенбаум** предложил систему всеобщего контроля качества (англ. Total Quality Control, TQC), которая предполагала контроль качества на всех этапах жизненного цикла продукта во всех подразделениях предприятия [7]. Файгенбаум уделял большое внимание причинам несоответствия заданным требованиям и анализировал затраты предприятия, связанные с обеспечением качества.

Э. Деминг, американский статистик, был первым, кто стал разрабатывать философию управления качеством. Деминг создал Статистическое управление процессами (англ. Statistical Process Control, SPC) и определил 14 принципов концепции Всеобщего управления качеством (англ. Total Quality Management, TQM) [2, 4, 9]. Согласно Демингу, повышение качества продукции и услуг приводит к повышению конкурентоспособности предприятия. При этом качество напрямую зависит от совершенствования производственного процесса, а не от постоянного контроля этого процесса. В ситуации улучшения системы производства становится возможным снижение издержек. Деминг считал, что требования нулевых дефектов, производственные стандарты и почасовая оплата труда – факторы, которые тормозят процесс повышения качества.

Кроме того, необходима реализация концепции обучения на рабочем месте, при которой руководитель понимает трудности, с которыми могут столкнуться простые рабочие. Из последней мысли вытекает следующая идея: руководитель не контролирует рабочих, а помогает им научиться исправлять отклонения в производственном процессе в случае их возникновения. При этом сотрудники должны чувствовать себя в безопасности и не бояться выражать свое мнение по возможности совершенствования конкретных процессов. Организация должна создавать условия для постоянного обучения и поощрять сотрудников, занимающихся самосовершенствованием.

Для лучшего взаимодействия между сотрудниками разных отделов необходимо ликвидировать барьеры между подразделениями предприятия: все люди должны работать как одна большая команда, цель которой – постоянное повышение качества производимой продукции. При этом важна роль каждого сотрудника.

Следует отметить, что 1946 год стал знаковым годом для предприятий, ориентированных на качество. В 1946 году были основаны три крупные организации: Американское общество качества (первоначально называвшееся Американским обществом контроля качества, измененное в 1997 году), Международная организация по стандартизации и Японский союз инженеров и ученых [4].

Четвертый этап, начавшийся в 60-е годы 20 века, предполагал дальнейшее развитие концепции TQM преимущественно на японских предприятиях. Несмотря на то, что теория управления качеством зародилась в Америке, первые практические успехи в данной сфере были достигнуты в 1950 годах в Японии. После Второй мировой войны японские производители задумались о восстановлении своей репутации на мировом рынке. В связи с этим, Японский союз инженеров и ученых пригласил в качестве лектора – американского ученого в области менеджмента качества и статистики – Деминга, который смог убедить производителей в необходимости внедрения его методов [2].

В данный период по инициативе профессора Токийского университета **К. Исикавы** продолжают развиваться статистические методы оценки качества, которые впоследствии способствовали «японскому экономическому

чуду». Исикава предложил причинно-следственную диаграмму, с помощью которой можно определить показатели качества и факторы, оказывающие влияние на эти показатели [8].

Помимо методов Исикавы в данный период всеобщее признание имели концепции Д. Джурана и Ф. Кросби. Работая вместе с Деменгом, **Джуран** разработал свою философию управления качеством – «Трилогию качества», которая состоит из трех управленческих процессов: контроль, улучшение и планирование качества [2]. Контроль предполагает поиск и исключение дефектов продукта. Под улучшением понимается процесс поиска методов, направленных на недопущение дефектов. Планирование качества предполагает предоставление средств производственным подразделениям, необходимых для изготовления качественной продукции.

В свою очередь **Кросби** в 1964 году разработал две концепции: «Quality is free» и «Zero defects» [2]. Суть концепции «Quality is free» заключается в следующем: обеспечение низкого качества продукта на начальных этапах производства будет стоить больших затрат для компании на всех последующих этапах жизненного цикла продукта. Концепция «Zero defects» предполагает, что стремление к нулевым дефектам будет способствовать снижению затрат и увеличению прибыли. Кроме того, Кросби сформулировал 14 практических шагов постоянного повышения качества, которые коррелируют с 14 философскими принципами Деминга.

В 70-80 годы 20 века наступил **пятый этап** развития систем управления качеством. В 1980-х годах успехи Японии в промышленности с использованием TQC повлияли на то, что другие страны по всему миру, включая Соединенные Штаты и Великобританию, приняли модель управления качеством.

Данный период характеризуется созданием **национальных стандартов** качества: например, подобные стандарты были созданы в Великобритании (англ. British Standard, BS5750) и в СССР (Комплексная система управления качеством продукции, КСУКП).

Шестой этап (с 80-х годов 20 века) характеризовался распространением и признанием концепции TQM во всем мире. Управление качеством предусмотрено не только в производственных, но и в логистических, маркетинговых процессах. На данном этапе различают три различных процесса, связанные с качеством: контроль качества, обеспечение качества и общее управление качеством. Контроль качества – это процесс, в ходе которого у конечного продукта выявляются элементы, не соответствующие заданным стандартам. Обеспечение качества – это процесс, который предшествует контролю качества и направлен на предотвращение потенциальных ошибок в конечном изделии.

Концепция общего управления качеством (TQM) объединяет в себе процессы контроля и обеспечения качества и предполагает создание корпоративной культуры, согласно которой каждый сотрудник организации стремится к обеспечению высокого качества выпускаемой продукции [2]. Следует отметить, что TQM – это не только концепция, но и философия, которая предлагает вовлечение в процесс управления качеством не только сотрудников организации, но также поставщиков и контрагентов.

В соответствии с TQM существует два подхода к управлению качеством: процедурный и трансформационный. Первый подход предлагает следование определенным процедурам, необходимым для достижения заданного уровня качества. Трансформационный подход, в свою очередь, связан с непрерывным развитием организации, постоянным улучшением качества выпускаемой продукции и социальной ответственностью перед клиентами. Таким образом, результатом применения процедурного подхода является доказательство того, что необходимый уровень качества достигнут; а результатом трансформационного – уровень качества постоянно повышается.

В 1987 году появилась серия стандартов ISO 9000 (англ. International Organization for Standardization), включающая в себя пять стандартов [5]. На протяжении последующих десятилетий данные стандарты пересматривались, два из них (9002 и 9003) были отменены. Актуальными версиями стандартов ISO на сегодняшний день являются: ISO 9000:2015; ISO 9001:2015; ISO 9004:2019. Данная серия стандартов предполагает создание системы менеджмента качества, которая, при корректном использовании, позволяет осуществить выпуск продукции без дефектов. Наибольшую значимость в данной серии стандартов представляет стандарт ISO 9001, в котором сформулированы принципы непрерывного и долгосрочного повышения качества на всех этапах производства.

Необходимо отдельно отметить **историю развития отечественных систем качества**. Можно выделить три эпохи: дореволюционную (18-19 вв.), советскую (1917-1991 гг.) и российскую (с 1991 по наст. вр.) [10]. В период первой эпохи особую роль играл Петр I, который утвердил Указы о требованиях к качеству оружия и о наказании за поставку некачественного оружия. Кроме того, следует отметить, что в 1893 году была создана Главная Палата меры и весов [10].

В советский период развития систем качества стали появляться первые научные концепции и теории в данной области. Данную эпоху можно условно разделить на 4 этапа.

Первый этап связан с внедрением в 1955 году на Саратовском авиазаводе БИП («Системы бездефектного изготовления продукции и сдачи с первого предъявления») [11]. Основные принципы данной концепции, следующие: исполнитель несет полную ответственность за качество; исполнитель самостоятельно должен проверить изделие на наличие брака и дефектов; на предприятии необходимо проводить День качества каждую неделю; реализация ритмичного производства и устранение недостатков производственных и технологических процессов; постоянно обучение сотрудников, их моральное и материальное вознаграждение в случае отсутствия дефектов. Таким образом, БИП является аналогом концепции «Zero defects», предложенной Кросби на 9 лет позже.

На **втором этапе** развития отечественных систем качества основное внимание стало уделяться процессам, предшествующим производству: обеспечение качества на этапе разработки и научных исследований. Данную задачу призвана была решить система КАНАРСПИ (КАчество, Надежность, Ресурс, С Первого Изделия), реализованная на Горьковском самолетостроительном заводе [11]. Данная концепция впервые в отечественной истории стала рассматривать процесс обеспечения качества на всем жизненном цикле продукта: от создания опытного образца до его реализации.

Третий этап связан с внедрением на Ярославском моторном заводе системы НОРМ (научной организации работ по увеличению моторесурса) [11]. Данная система включала в себя главный показатель качества – величину моторесурса двигателя, который определялся как промежуток времени до первого капитального ремонта. Увеличение моторесурса осуществлялось повышением надежности деталей и узлов. Внедрение данной концепции позволило сократить затраты на обслуживание и ремонт двигателей.

На четвертом этапе произошло обобщение всех уже ранее разработанных отечественных систем качества (БИП, КАНАРСПИ, НОРМ). Была создана комплексная система управления качеством продукции (КС УКП) на базе ПО «Электрон» [12, 13]. Данный комплекс стандартов включал в себя следующие положения: управление качеством должно осуществляться на всех этапах жизненного цикла продукта; необходимо внедрение статистических подходов и автоматизированных методов управления качеством; уровень квалификации сотрудников должен постоянно повышаться; целесообразно предусмотреть систему мотивации для сотрудников, обеспечивающих принципы данной концепции. КС УКП была рекомендована к внедрению на всех промышленных предприятиях СССР. С 1976 по 1980 были объявлены пятилеткой качества [10].

В период российской истории развития систем качества была создана Государственная система стандартизации РФ. На основе международных стандартов ISO с учетом специфики отечественных предприятий разрабатываются собственные межотраслевые стандарты.

Заключение. Таким образом, была проанализирована история развития систем качества. До начала 20 века несмотря на то, что произошел переход от аграрного общества к индустриальному, управления качеством как науки не существовало. Развитие теоретической и практической базы в данной сфере способствовали такие специалисты как Тейлор, Форд, Шухарт, Деминг, Исикава и др. Первые концепции управления качеством возникли в США, но практическую реализацию они получили в Японии.

Отечественная история развития систем управления качеством начинается с 50-х годов 20 века. На протяжении 30 лет разрабатывались и внедрялись различные подходы управления качеством на промышленных предприятиях: БИП, КАНАРСПИ, НОРМ, КС УКП. В настоящее время существуют международные (ISO) и национальные (ГОСТ) стандарты в области управления качеством, предусматривающие реализацию концепции TQM. Согласно методу TQM, все организационные и бизнес-процессы на производстве должны постоянно увеличивать качество. При этом улучшение должно происходить не только на уровне продукта, но и на уровне совершенствования процессов и повышения квалификации персонала.

Список литературы

- 1 Гончаров В.Н. Теоретические подходы к определению понятия «качество» // В.Н. Гончаров, В.В. Колесникова, И.В. Ширяева // ЭКОНОМИНФО. 2015. №23. С. 53-57.
- 2 Alghamdi H. Toward Better Understanding of Total Quality Management (TQM) // Journal of Business & Economic Policy. 2016. Vol. 3. №4. P. 29-37.
- 3 ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь», 2015.
- 4 Hellman P. Development of quality management systems: how have disruptive technological innovations in quality management affected organizations? // P. Hellman, Y. Liu // Quality innovation prosperity. 2013. №17/1. P. 104-119.
- 5 Боргардт Е.А. Эволюция системы управления качеством / Е.А. Боргардт, Д.Н. Бобель // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. №8-1 (59). С. 181-184.
- 6 Чубинский А.Н. Основы управления качеством. Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» (профиль «Технология деревообработки») // А.Н. Чубинский, И.М. Батырева, Д.С. Русаков // СПбГЛТУ, 2018. 90 с.
- 7 Шевчук Д.А. Управление качеством [учебник] // ГроссМедиа, РОСБУХ. 2008. 216 с.
- 8 Штефан Ю.В. Управление качеством машин и технологических процессов: учеб. Пособие // Ю.В. Штефан, В.А. Зорин, Н.И. Баурова // МАДИ. 2016. 120 с.
- 9 Мещеров М.М. Модель управления качеством, основанная на принципах всеобщего управления качеством TQM // Научно-практический электронный журнал Аллея Науки. 2019. №11(38). С. 352-356.
- 10 Ситникова Е.В. История развития систем менеджмента качества в России // Modern Science. 2019. №7-1. С. 43-47.
- 11 Попова Л.Ф. Отечественная история развития управления качеством на предприятии // Современный взгляд на проблемы качества и управления конкурентоспособностью в условиях внешних вызовов. Материалы международной (очно-заочной) научно-практической конференции. 2015. С. 117-121.
- 12 Водопьянов К.В. История возникновения и развитие систем управления качеством сложных технических систем // К.В. Водопьянов, М.Н. Ерофеев, О.Л. Мальцева // Гуманитарный вестник военной академии ракетных войск стратегического назначения. 2018. № 2(10). С. 160-164.
- 13 Иванова В.В. История становления современных мировых тенденций в управлении качеством // В.В. Иванова, А.Л. Воробьев // Матрица научного познания. 2021. № 6-2. С. 83-89.

Новикова Татьяна Алексеевна, аспирант, boiko_tatjana@mail.ru, Россия, Москва, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,

Ляпунова Елена Вячеславовна, д-р техн. наук, профессор, lev86@bmstu.ru, Россия, Москва, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

EVOLUTION OF APPROACHES TO QUALITY MANAGEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS

T.A. Novikova, E.V. Lyapunsova

This paper examines the history of the development of approaches to quality management of mechanical engineering products in general, and automotive products in particular. The first part of the article defines the concept of quality, formulated by specialists in this field, and also presents the concept of quality presented in the ISO 9000 standard. The study shows how the idea of quality changed before the emergence of quality management as an independent discipline. The second part of the article describes in chronological order six stages in the development of approaches to quality management around the world. The first stage - mechanical - was associated with such specialists as F. Taylor, G. Ford, S. Colt, G. M. Leland. At the second stage - management - statistical quality control systems began to be used. At the third stage, associated

with such names as A. Feigenbaum and E. Deming, a system of total quality control (English: Total Quality Control, TQC) was proposed. At the fourth stage, K. Ishikawa continues to develop statistical methods for quality assessment, and D. Juran develops a quality management philosophy - the "Quality Trilogy". The fifth stage is characterized by the creation of national quality standards. At the sixth stage, the TQM concept is spread and recognized throughout the world. In addition, the article highlights the periods of formation of the domestic quality management system.

Key words: total quality control system, automotive industry, standards, statistical methods for quality assessment.

Novikova Tatyana Alekseevna, postgraduate, boiko_tatjana@mail.ru, Russia, Moscow, Bauman Moscow State Technical University,

Lyapunтова Елена Вячеславовна, доктор технических наук, профессор, lev86@bmstu.ru, Russia, Moscow, Bauman Moscow State Technical University

УДК 658.562

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-575-576

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ САМОХОДНЫХ МАШИН И ПРИЦЕПОВ К НИМ

И.С. Борисов, В.А. Васильев

Рассматриваются вопросы совершенствования системы стандартизации организации в сфере динамически развивающихся требования по подтверждению соответствия самоходных машин и прицепов к ним. Проведен обзор основных нововведений в нормативной документации, касающейся свободного обращения самоходных машин. Определены признаки и проблемы развития системы стандартизации организации. Приведен опыт развития системы различными учеными и практиками.

Ключевые слова: стандартизация; система стандартизации организации; самоходные машины; оценка соответствия; методы совершенствования стандартизации, технический регламент.

Ключевым фактором для обеспечения долгосрочной конкурентоспособности организации является уровень соответствия ее системы стандартизации требованиям международных и национальных стандартов. Система стандартизации, входящая в состав системы менеджмента качества (СМК), должна быть разработана таким образом, чтобы учитывать актуальные потребности потребителей, а также решать задачи управления качеством, снижать риски и повышать возможности производства конкурентоспособной продукции. Важно отметить, что система стандартизации должна постоянно совершенствоваться и приспосабливаться к изменяющимся требованиям, чтобы организация могла успешно конкурировать на рынке на протяжении длительного времени [1].

В период с 2021 по 2024 года обращение самоходных машин на территории таможенного Союза претерпело существенные изменения в результате технического прогресса и законодательных реформ. Вступившие в силу Федеральный закон от 02.07.2021 N 297-ФЗ "О самоходных машинах и других видах техники" и Приказ Минпромторга России от 31.05.2022 N 2197 регламентируют изменения в процедуре оформления паспортов самоходных машин и дальнейшую их регистрацию в органах государственного технического надзора [2,3]. Начиная с осени 2022 года, таможенные органы лишены бумажных бланков паспортов самоходных машин, взамен этого полномочия на паспортизацию самоходных машин переходят к органам по сертификации, испытательным лабораториям или Российским изготовителям и официальным импортерам спецтехники. Процедура паспортизации спецтехники становится электронной и реализуется с помощью системы электронных паспортов портала АО «Электронный паспорт».

На сегодняшний день, вопрос подтверждения соответствия самоходных машин стоит острым образом в связи с тем, что с момента отмены бумажных паспортов на некоторые виды техники невозможно получить электронный паспорт из-за того, что техника не подлежит ни ТР ТС 010/2011, ни ТР ТС 031/2012. Ранее получение бумажного паспорта осуществлялось без привязки к техническим регламентам, теперь же техника должна обязательным образом быть подтверждена на соответствие требованиям ТР ТС 010/2011, либо ТР ТС 031/2012.

Реформа в законодательстве в части регистрации самоходных машин вскрыло ряд недостатков в действующем ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования». Данный технический регламент не охватывает все виды самоходной техники, и некоторая продукция остается не подлежащей ни одному из действующих ТР ТС и, в следствии этого, вне поля действия текущей нормативной документации.

В целях обеспечения унификации требований к регистрации самоходной техники необходимо актуализировать и усовершенствовать нынешнюю систему стандартизации, чтобы исключить противоречия в нормативных документах.

Обзор литературы. К ведущим авторам, которые внесли значительный вклад в развитие научных основ стандартизации можно отнести как отечественных, так и зарубежных ученых и специалистов: Адлер Ю.П., Азгальдов Г.Г., Аронов И.З., Барвинок В.А., Белобрагин Б.Я., Бойцов Б.В., Бойцов В.В., Васильев В.А., Гастев А.К., Голубчик Э.М., Гун Г.С., Деминг Э., Джуран Д., Дойль П., Зажигалкин А.В., Ивахненко А.Г., Клочков Ю.С., Корчунов А.Г., Котлер Ф., Оучи У., Постыка В.М., Рубин Г.Ш., Субетто А.И., Тейлор Ф.У., Фейгенбаум А., Чайка И.И., Чекарчев А.Н. и др.

Анализ работ российских и зарубежных авторов, которые проводили научные исследования в области стандартизации показал, что наряду со значимыми работами остались не решёнными проблемы внедрения требований международных и национальных стандартов в систему стандартизации при противоречиях и конфликтах внедряемых новых требований с уже действующими в нормативной документации. В частности, на сегодняшний день, существует ряд противоречий, касающиеся свободного обращения спецтехники, среди них, такие как:

- отсутствие возможности государственной регистрации в органах Ростехнадзора прицепных бетононасосов, компрессоров, насосных станций, мини-электромобилей, гольфкаров, самоходных платформ, терминальных тягачей и др., в связи с отсутствием или не полнотой требований, содержащихся в ТР ТС 010/2011;

- проблемы, связанные с обходом санкций через параллельный импорт и вынужденным нарушением требований ТР ТС 010/2011 в части маркировки спецтехники, отсутствующей в Приказе Минпромторг РФ от 21.07.2023 № 2701.

Реформы в области паспортизации самоходных машин сопровождаются новыми требованиями со стороны Минпромторга к их подтверждению соответствия. Вступает в силу Приказ Минпромторга России от 21.07.2023 № 2701 об осуществлении параллельного импорта спецтехники. Осуществление параллельного импорта спецтехники является сложным механизмом, который позволяет предприятиям импортировать из-за рубежа самоходные машины, прошедшие соответствующую процедуру подтверждения соответствия в других странах, и использовать их на территории России без дополнительной процедуры сертификации. Это позволяет сократить временные и финансовые затраты на внедрение новой техники на отечественном рынке. Данный приказ устанавливает перечень кодов товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности и, соответствующие им торговые марки, которые могут ввозиться на единую территорию Евразийского Союза продавцами, не являющимися уполномоченными изготовителем лицом [4]. При ввозе спецтехники по параллельному импорту необходимо иметь разрешительную документацию, подтверждающую соответствие требованиям ТР ТС в виде декларации или сертификата соответствия на партию, где Заявителем является Продавец, либо допускается использовать декларацию или сертификат на серию официального импортера с предоставлением официальной справки от Продавца об ответственности за ввозимую технику. Данная справка предоставляется в Минпромторг РФ.

Однако Приказ МПТ РФ от 21.07.2023 № 2701 не содержит всей полноты торговых марок, находящихся под запретом на ввоз на территорию РФ, из-за этого на рынке наблюдается ситуация, при которой существует много неофициальных дилерских центров и импортеров запрещенной техники, что говорит о вынужденном обходе или нарушении требований ТР ТС 010/2011 в части маркировки в целях ввоза и обращения продукции на рынке.

Исходя из вышеизложенного, на сегодняшний день организации нуждаются в применении новых методов совершенствования системы стандартизации в целях повышения качества оказываемых услуг по оценке соответствия в условиях нововведений свободного обращения спецтехники.

В рамках системы стандартизации организации присутствует набор необходимых процессов, которые выделяются для обеспечения эффективного функционирования системы. Эти процессы включают управление самой системой стандартизации, анализ нормативной документации, внедрение нормативно-методических документов, описание и оптимизацию процессов и нормативной документации, проведение внутреннего аудита, инвентаризацию, обучение и аттестацию персонала, периодический контроль знаний нормативных документов, а также хранение и учет использования нормативной документации [5, 6]. В состав системы стандартизации входят также важные аспекты, такие как разработка и обновление нормативной документации, отмена неактуальных нормативных документов и поддержка базы знаний.

В рамках процесса стандартизации взаимодействуют различные участники, включая группы процессов инициирования, планирования, мониторинга и контроля, реализации и закрытия. Эти группы процессов взаимодействуют не только между собой, но и с внешней средой.

Документация в сфере стандартизации нацелена на установление норм и требований, которые будут применяться повторно. Она направлена на достижение систематизации организационной деятельности и обеспечение высокого качества технических решений и процессов на всех этапах жизненного цикла продукции.

Повышение конкурентоспособности организации и ее продукции, а также обеспечение безопасности заинтересованных сторон являются основными целями системы стандартизации организации. Для достижения поставленных целей необходимо реализовать определенный комплекс мероприятий, включающий в себя следующие аспекты: установление единой технической политики, повышение уровня безопасности производственных объектов с учетом возможных природных и техногенных катастроф, а также других чрезвычайных ситуаций. Одновременно необходимо уделять особое внимание повышению надежности, обеспечению выполнения требований технических регламентов, защите от приобретения товаров и услуг низкого качества, а также эффективному и рациональному использованию ресурсов через установление нормирования и контроля за расходом и запасом ресурсов. Критически важно обеспечить сопоставимость результатов измерений, испытаний и технических, экономико-статистических данных на международном, национальном и корпоративном уровнях.

В условиях активного развития международных и национальных стандартов системы стандартизации организации сталкиваются с проблемами низкой эффективности и результативности. Над решением этих проблем работало значительное число учёных и практиков, которые проводили исследование различных современных методов развития систем стандартизации организации.

Развитие за счёт совершенствования методов стандартизации.

Исследования, выполненные Ю.С. Ключковым, направлены на улучшение процесса стандартизации. В процессе исследований было обнаружено, что помимо привычных методов стандартизации, таких как классификация, систематизация, селекция, типизация, унификация и другие, необходимо использовать метод, который гарантирует выполнение всех требований, установленных нормами. Этот метод нацелен на обеспечение достижения установленных норм и стандартов в процессе. Для достижения высокого качества и безопасности в процессах управления качеством необходимо учитывать конкретные производственные условия при разработке нормы. Таким образом, для соблюдения установленной нормы в производственных условиях требуется ее адаптация [7, 8].

Развитие за счёт совершенствования процедур внедрения нормативных документов. Диссертационное исследование А.Ю. Газизулиной сфокусировано на разработке и анализе метода, который способствует более эффективному и эффективному внедрению норм, требований и правил в систему стандартизации организации. Цель рабо-

ты заключается в улучшении процедур внедрения путем комплексной оценки динамики данного процесса [9]. Сначала проведен анализ соответствия процедур внедрения, основанный на сравнении запланированных и реальных значений улучшения нормативной документации предприятия. Этот анализ позволяет оценить эффективность текущих процедур внедрения и выявить потенциал для улучшения. Результаты анализа сравниваются с предварительно установленными стандартами и целями организации. Определяются области, где существует расхождение между запланированными и фактическими достижениями и где требуются дополнительные улучшения. На основе выявленных недостатков и потенциала для улучшения разрабатывается метод, который позволяет сократить сроки внедрения и повысить результативность процесса. Развивая представленную выше концепцию, проводится оценка эффекта, вызванного внесением изменений высшим руководством, на основе качественной оценки количества изменений нормативных документов. Чтобы определить успешность внедрения требований и соответствие оперативности изменений плановым показателям развития организации, можно проанализировать оценку уровня достигаемых результатов с помощью методов, позволяющих рассчитать динамику введенных изменений. Это обеспечит понимание эффективности мер, принятых высшим руководством, в целях достижения желаемых результатов и обеспечения устойчивого развития организации. Для достижения этой цели автором предлагается использовать графическую модель, которая учитывает факторы отставания по срокам и невыполнение требований [10,11]. С использованием данной модели можно установить критерии для оперативности и результативности процесса внедрения норм, требований и правил в нормативную базу организации.

Развитие за счёт анализа и оценки результативности работ по стандартизации. Работа И. А. Барабанова и Т. В. Школиной «Анализ и оценка результативности работ по стандартизации» представляет собой исследование, направленное на решение проблем обеспечения качества выполнения работ по стандартизации и оценки их эффективности. В данном исследовании применяются методы процессного подхода с целью достижения установленной цели [12]. В данной работе отмечается, что каждый тип деятельности может быть рассмотрен как процесс, включающий входные данные, такие как материалы, требования и информация, а также выходные данные, такие как принятые решения и документация. Кроме того, процессы стандартизации оснащены средствами управления и ресурсами. Соединение информационных моделей и других выделенных процессов осуществляется посредством входных и выходных данных, а также управления, что позволяет объединить их в единую сеть процессов стандартизации. Одной из основных задач в работе является выделение выходов процессов стандартизации, которые были идентифицированы при моделировании. Эти выходы становятся основой для разработки критериев, по которым будет оцениваться результативность работ по стандартизации [12]. Авторами формируется модель качества работ по стандартизации с расчётом результативности как для каждого выделенного процесса, так и на различных уровнях.

Развитие за счёт построения моделей типа IDEF. Методология разработки модели, предложенная С.М. Бобровским и Т.С. Яницкой, направлена на упорядочивание процесса проектирования. Данная методология основана на использовании методов структурного анализа, которые позволяют формализовать процессы, заложенные в стандартах. Важно отметить, что проблема внедрения требований стандартов решается путем перевода текстового формата требований в нотации IDEF [13, 14]. Однако, для обеспечения однозначной трактовки стандарта, использование графического представления требований оказывается необходимым. Таким образом, применение методов структурного анализа при разработке модели позволяет удобно преобразовывать информацию различного типа в соответствии с основными принципами данного метода.

Строительство моделей стандарта ИСО 9001 с использованием структурного анализа основывается на переходной схеме для каждого подуровня разделов. Процесс моделирования начинается с извлечения данных, которые затем используются для создания функциональной модели и модели данных. При этом выделяются процедуры, которые относительно легко включить в описание процессов, затем внимание переключается на пункты стандарта, содержащие конкретные данные. После этого проводится преобразование данных и строится переходная схема для каждого подуровня разделов стандарта ИСО 9001. Полученные схемы и связи затем преобразуются в стандартный формат IDEF0 [13, 14].

Проблемы развития систем стандартизации. В современной научной литературе предлагается набор решений, способствующих развитию систем стандартизации в организациях. Однако эти решения не решают все проблемы, связанные с внедрением стандартов требований. Для полной автоматизации

процесса и процедур системы менеджмента качества необходимы дополнительные знания и понимание предлагаемых моделей. Кроме того, при реализации этих требований не учитываются ограничения ресурсов организации, сопротивление персонала и взаимодействие требований.

Внедрение требований международных и национальных стандартов в систему стандартизации организации требует выделения ресурсов, таких как время, финансы и персонал. Особенно важно учесть, что, если персонал не поддерживает внедрение новых требований, это может привести к полному аннулированию ожидаемого эффекта. Таким образом, в успешной реализации стандартизации не только необходимо овладеть дополнительными знаниями и навыками, но также учесть ограничения ресурсов и сопротивление со стороны персонала.

Недостаток ресурсов и сопротивление персонала могут привести к двум негативным последствиям: сокращению полного объема и полной реализации внедряемых требований и увеличению времени, затрачиваемого на их внедрение.

Поэтому ключевыми задачами в данной сфере являются оценка эффективности системы стандартизации в организации, управление ресурсами, выделяемыми для внедрения новых требований в нормативную систему документации предприятия, а также разрешение конфликтов при взаимодействии требований и прогнозирование уровня сопротивления со стороны персонала.

Список литературы

1. Васильев В.А. Управление качеством в современных условиях / В.А. Васильев, С.В. Александрова // Технология металлов. 2014. № 9. С. 34 – 43.
2. Федеральный закон от 02.07.2021 N 297-ФЗ "О самоходных машинах и других видах техники".
3. Приказ Минпромторга России от 31.05.2022 № 2197. Об утверждении порядка и условий предоставления уполномоченным организациям полномочий по оформлению электронных паспортов самоходных машин и других видов техники.

4. Приказ Минпромторга России от 21.07.2023 № 2701 "Об утверждении перечня товаров (групп товаров), в отношении которых не применяются положения статей 1252, 1254, пункта 5 статьи 1286.1, статей 1301, 1311, 1406.1, подпункта 1 статьи 1446, статей 1472, 1515 и 1537 Гражданского кодекса Российской Федерации при условии введения указанных товаров (групп товаров) в оборот за пределами территории Российской Федерации правообладателями (патентообладателями), а также с их согласия.
5. ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения». М.: Стандартинформ, 2005.
6. ГОСТ Р 1.5-2012. «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения». М.: Стандартинформ, 2005.;
7. Клочков Ю.С. Совершенствование методов моделирования бизнес- процессов и управления качеством продукции: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Клочков Юрий Сергеевич. Самара, 2006. 123 с.;
8. Клочков Ю.С. Совершенствование системы управления качеством продукции на основе развития модели потребительской оценки и анализа самоорганизации процессов: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.02.23 / Клочков Юрий Сергеевич. Самара, 2012. 235 с.
9. Газизулина А.Ю. Разработка модели сертификации продукции на основе QFD / Клочков Ю.С., Волгина А.Д., Карсунцева А.А., Селезнева Т.С. // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013 №4 (26). С. 111 – 113.
10. Газизулина А.Ю. Анализ классификаторов несоответствий в нормах, правилах и требованиях / А.Ю. Газизулина, Ю. С. Клочков // International DQM conference on dependability and quality management, The DQM Research Center, Prijevor, Serbia. 2016. P. 87 – 95.
11. Газизулина А.Ю. Развитие стандартизации как инструмента управления качеством / А.Ю. Газизулина // Сборник статей Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского – "МАТИ" Москва. 2014. С. 72 – 77.
12. Барабанова И.А., Школина Т.В. Анализ и оценка результативности работ по стандартизации // Фундаментальные исследования. 2016. № 4-3. С. 480-484.
13. Бобровский С.М. Построение модели системы управления качеством предприятия на основе использования методов структурного анализа/ С.М. Бобровский, Т.С. Яницкая // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 5. С. 186-192.
14. Яницкая Т.С. Совершенствование систем менеджмента качества на основе методов структурного анализа: дис. ... канд. техн. наук.: 05.02.23/Тольятти, 2006. 203 с.

Борисов Илья Станиславович, аспирант, ilya.skiya@ya.ru, Россия, Москва, Московский политехнический университет,

Васильев Виктор Андреевич, д-р техн. наук, профессор, vasiliev1952va@yandex.ru, Россия, Москва, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ (НИУ))

IMPROVEMENT OF STANDARDIZATION SYSTEM IN THE FIELD OF CONFORMITY ASSESSMENT OF SELF-PROPELLED MACHINES AND TRAILERS TO THEM

I.S. Borisov, V.A. Vasiliev

The questions of improvement of the organization standardization system in the sphere of dynamically developing requirements for conformity assessment of self-propelled machines and trailers to them are considered. The review of basic innovations in normative documentation concerning free circulation of self-propelled machines is carried out. The signs and problems of the organization standardization system development are defined. The experience of system development by different scientists and practitioners is given.

Key words: standardization, organization standardization system, self-propelled machines, conformity assessment, methods of standardization improvement, technical regulation.

Borisov Ilya Stanislavovich, postgraduate, ilya.skiya@ya.ru, Russia, Moscow, Moscow Polytechnic University,

Vasiliev Victor Andreevich, doctor of technical sciences, professor, vasiliev1952va@yandex.ru, Russia, Moscow, Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI (NRU))

КВАЛИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЕСОМОСТИ ЦИФРОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПЕРСОНАЛА, ЗАДЕЙСТВОВАННОГО ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ НИР

А.Н. Шмелёва, М.А. Назаренко

Одной из основных проблем внедрения цифровой трансформации в каждую область производства наукоемкой продукции в радиоэлектронной отрасли является необходимость внедрения цифровых компетенций для анализа, обработки информации, моделирования и подготовки отчета по научно-исследовательской работе на всех этапах выполнения НИР. Проведена квалиметрическая оценка весомости внедрения цифровых и нецифровых компетенций персонала задействованного при выполнении на всех этапах НИР, проведена оценка положительного эффекта внедрения цифровых компетенций.

Ключевые слова: цифровые компетенции, цифровая трансформация, квалиметрическая оценка, компетенции, оценка весомости, управление качеством, научно-исследовательская работа.

Квалиметрические модели оценки компетентности персонала, задействованного при выполнении научно-исследовательских работ (НИР) [5], представляют собой методы и подходы к количественной оценке профессиональных навыков, знаний и качественных характеристик персонала, участвующего в исследовательских проектах. Эти модели позволяют оценить уровень экспертизы и профессионализма сотрудников на основе конкретных критериев и параметров [6].

Применение квалиметрических моделей в оценке компетентности персонала в НИР может включать в себя следующие этапы [7]:

1. Определение критериев компетентности: Разработка конкретных критериев, которые отражают необходимые навыки, знания и качества персонала для успешного выполнения НИР.

2. Определение шкалы оценки: Создание шкалы, которая позволит количественно измерить каждый критерий компетентности. Шкала может быть числовой (например, от 1 до 5) или использовать другие метрики в зависимости от конкретных потребностей исследования.

3. Экспертная оценка: Проведение оценки компетентности персонала экспертами, которые имеют опыт и знания в соответствующей области исследования руководствуясь должностными инструкциями. Эксперты могут использовать заранее определенные критерии и шкалы для выставления оценок.

4. Агрегация и анализ данных: Сбор и агрегация данных об оценках компетентности персонала. После этого данные анализируются для выявления общих тенденций, слабых мест и сильных сторон персонала.

5. Принятие решений: На основе результатов анализа принимаются решения о дальнейших шагах, таких как обучение и развитие персонала, оптимизация команды и распределение обязанностей.

Квалиметрические модели обладают преимуществами в виде объективности и возможности проведения качественного анализа компетентности персонала. Они также могут быть адаптированы к различным областям исследований, что делает их универсальным инструментом для оценки профессиональных навыков и знаний сотрудников, работающих в области НИР [5].

Авторами была разработана квалиметрическая оценка весомости цифровых и профессиональных компетенций персонала, задействованного при выполнении НИР в радиоэлектронной отрасли. За основу универсальных (УК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных компетенций (ПК) были взяты компетенции из ФГОС ВО магистратура по направлению подготовки 11.04.01 Радиотехника [2]. При разработке профессиональных компетенций (ПК) был проанализирован профессиональный стандарт 06.048 и за основу выбрана трудовая функция «G» – Проведение научно-исследовательских работ по разработке инновационных радиоэлектронных средств различного назначения. Цифровые компетенции авторами были разработаны на основе УК, ОПК и ПК с учетом требований цифровой трансформации, а также национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», которая предусматривает перспективы направления внедрения цифровых технологий в высшем образовании и научно-исследовательских предприятиях [3]. Для упрощения анализа и расчетов были введены дополнительные обозначения индикаторов оценки компетенций, указанных в табл. 1 [2].

Таблица 1

Критерии оценки компетентности персонала, задействованного при выполнении НИР

№ п/п	Индикатор оценки компетенций	Обозначение	Оценка коэффициента весомости, Q
1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий (УК-1)	C(1)	2,08
2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла (УК-2)	C(2)	2,48
3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели (УК-3)	C(3)	2,48
4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия (УК-4)	C(4)	1,19
5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия (УК-5)	C(5)	0,34
6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки (УК-6)	C(6)	0,59
7	Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора (ОПК-1)	C(7)	0,24

8	Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы (ОПК-2)	C(8)	0,47
9	Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач (ОПК-3)	C(9)	0,40
10	Способен разрабатывать и применять специализированное программно-математическое обеспечение для проведения исследований и решения инженерных задач (ОПК-4)	C(10)	0,59
11	Способен осуществлять сбор и анализ научно-технической информации, обобщать отечественный и зарубежный опыт в области радиотехники, проводить анализ патентной литературы (ПК-1) (Из G/02.7)	C(11)	0,71
12	Способен выполнять математическое и компьютерное моделирование процессов обработки сигналов в радиоэлектронных средствах с использованием прикладных программ (ПК-2) (Из G/02.7)	C(12)	0,59
13	Способен пользоваться методикой выполнения научно-технических исследований в области проектируемых радиоэлектронных средств (ПК-3) (Из G/02.7)	C(13)	1,19
14	Способен составлять аналитические обзоры и научно-технические отчеты по результатам выполненной работы, публиковать результаты исследований и разработок в форме патентов, статей, докладов (ПК-4) (Из G/02.7)	C(14)	0,59
15	Способен проводить патентные исследования, оформлять изобретения (ПК-5) (Из G/02.7)	C(15)	1,19
16	Способен применять средства электронного документооборота технической документации (ПК-6) (Из G/02.7)	C(16)	1,19
17	Способен применять современные методы получения и обработки текстовой и графической информации с применением цифровых технологий (ОЦК-1)	DC(1)	1,05
18	Способен находить и использовать информационные ресурсы для развития цифровой грамотности (ОЦК-2)	DC(2)	0,26
19	Способен формировать электронную документацию в соответствии с требованиями электронного документооборота в цифровой среде (ПЦК-1)	DC(3)	0,26
20	Способен анализировать и обрабатывать информацию по заданным цифровым отчетам с применением цифровых технологий на основе принципов построения и функционирования баз данных (ПЦК-2)	DC(4)	1,84
21	Способен использовать математические модели и теории при изучении, анализе, автоматизации и прогнозировании процессов для решения научно-исследовательских задач (ПЦК-3)	DC(5)	0,46
22	Способен применять навыки визуализации данных (ПЦК-4)	DC(6)	1,84
23	Способен применять методы искусственного интеллекта и машинного обучения для профессиональных целей (ПЦК-5)	DC(7)	1,84

Для расчета оценки коэффициента весомости каждой цифровой и нецифровой компетенции на каждом этапе выполнения научно-исследовательской работы были распределены компетенции в соответствии с этапами и содержанием выполняемых работ научно-исследовательской работы в соответствии с [1].

Таблица 2
Этапы научно-исследовательской работы и необходимые цифровые и нецифровые компетенции для каждого этапа выполняемых работ

Этапы	Содержание выполняемых работ	Необходимая компетенция	Оценка компетентности персонала задействованного при выполнении НИР, К(О)
1	Ознакомление с тематикой научно-исследовательской работы: • общее ознакомление с проблемой, по которой следует выполнить исследование; • ознакомление с литературой и классификация наиболее актуальных направлений; • формулирование гипотезы, описывающей ожидаемые результаты; • предварительную оценку ожидаемых результатов.	C(1) C(3) C(4) C(7) C(8) C(9) DC(3) DC(4)	7,77
2	Формулировка цели и задач исследования: • подбор и составление библиографических списков отечественной и зарубежной литературы; • изучение научно-технических отчетов по теме различных организаций соответствующего профиля; • составление аннотаций источников; • составление рефератов по теме; • анализ, сопоставление, критику прорабатываемой информации; • обобщение, критику, составление собственного суждения по проработанным вопросам; • формулирование методических выводов по обзору информации;	C(2) C(4) C(6) C(7) C(9) C(11) C(13) C(14) C(15) DC(1) DC(2)	11,68

	<ul style="list-style-type: none"> • формулирование цели и задач исследования. 	DC(3) DC(4) DC(6) DC(7)	
3	Моделирование: <ul style="list-style-type: none"> • изучение физической сущности (природы) процессов и явлений, определяющих основные качества исследуемого объекта; • выполнение предварительных (поисковых) экспериментов; • формулирование гипотезы, выбор и обоснование физической модели; • математизацию модели; • получение аналитических выражений; • теоретический анализ полученных закономерностей 	C(1) C(2) C(3) C(5) C(7) C(8) C(9) C(10) C(12) C(13) C(15) C(16) DC(1) DC(3) DC(4) DC(5) DC(6)	15,62
4	Экспериментальные исследования: <ul style="list-style-type: none"> • разработку цели и задач эксперимента; • планирование эксперимента; • разработку программы исследований; • выбор средств измерений, при отсутствии необходимых средств измерений — разработку новых средств измерений; • конструирование приборов, макетов, аппаратов, моделей, стендов, установок и других средств проведения и обеспечения эксперимента; • обоснование способов измерений, разработку, при необходимости, методик выполнения измерений и их аттестацию; • проведение эксперимента в лаборатории, на опытных участках, на заводах, в компаниях, на полигонах и т.д.; • обработку результатов измерений. 	C(1) C(2) C(3) C(4) C(6) C(7) C(8) C(9) C(10) C(12) C(13) C(15) C(16) DC(1) DC(3) DC(4) DC(5) DC(6) DC(7)	17,87
5	Анализ, обобщение, оценка результатов исследований, выпуск ОНТД по НИР: <ul style="list-style-type: none"> • анализ теоретико-экспериментальных исследований; • сопоставление эксперимента с теорией; • анализ расхождений; • уточнение теоретических моделей; • повторение экспериментов или проведение дополнительных экспериментов и их анализ до момента достижения цели исследований; • переформулирование предварительной гипотезы и утверждения, т. в. научный результат проведенного исследования; • формулирование научных, производственных и других выводов; • составление научно-технического отчета о НИР; • рецензирование; • составление доклада; • корректировку рукописи. 	C(1) C(2) C(3) C(7) C(8) C(9) C(10) C(11) C(12) C(13) C(14) C(15) C(16) DC(1) DC(2) DC(3) DC(4) DC(5) DC(6) DC(7)	16,70
6	Внедрение результатов и определение экономической эффективности: <ul style="list-style-type: none"> • разработку проекта технического задания на ОКР; • внедрение результатов исследования на производстве, у заказчика и т. д.; • определение экономического эффекта. 	C(4) C(5) C(7) C(8) C(14) C(16) DC(1) DC(2) DC(3) DC(6) DC(7)	6,52

На основе составленной таблицы 1 этапов научно-исследовательской работы и необходимых цифровых и нецифровых компетенций для каждого этапа выполняемых работ составлена гистограмма, где каждый столбец отображает количество повторений цифровых и нецифровых компетенций на каждом этапе выполнения НИР. Из гистограммы видно, что наиболее весомыми из нецифровых компетенций являются C(7), C(8), C(9); из наиболее весомых цифровых компетенций являются DC(1), DC(3), DC(4), далее при расчетах весомостей каждой компетенции для каждого этапа НИР будет учитываться количество повторений каждой компетенции.



Рис. 1. Гистограмма распределения цифровых и нецифровых компетенций относительно шести этапов выполнения научно-исследовательской работы

Метод комплексной оценки уровня качества включает в себя использование совокупности показателей свойств. Этот метод используется в случаях, когда необходимо достичь наиболее точной оценки качества сложных продуктов. Применение сводных показателей свойств для получения общего комплексного показателя определяется практической целесообразностью. Комплексный показатель весомости каждой компетенции (обозначаемый как $K(Q)$) зависит от взвешенных значений исследуемых этапов реализации НИР, учитывая значимость суммы каждой компетенции на каждом этапе реализации НИР, с учетом весомости отдельных компетенций для получения значения $K(Q)$.

Для соблюдения всех требований по применению комплексного показателя весомости цифровых и нецифровых компетенций была использована линейная зависимость для упрощения преобразования единичного показателя, выражающегося в безразмерном виде.

Для оценки соотношения цифровых компетенций к нецифровым и оценки весомости реализации каждой компетенции на каждом этапе НИР необходимо ввести показатель отношения:

$$P_{\text{отн}} = \frac{\sum_{m=1}^n C}{\sum_{m=1}^n DC} = 2,29$$

где, n — число этапов реализации НИР; C — нецифровые компетенции; DC — цифровые компетенции.

Далее необходимо проанализировать количество повторений общего числа цифровых и нецифровых компетенций на каждом этапе выполнения НИР.

На основе количества повторений вводится дополнительное шкалирование весомости для каждого числа повторений.

Для нецифровых компетенций на основе количества повторений использования каждой компетенции на всех этапах НИР производится шкалирование по количеству повторений, где:

- 3 — высокая весомость (повторение от 5-7 раз);
- 2 — средняя весомость (повторение от 3-4 раз);
- 1 — низкая весомость (повторение от 1-2 раз).

Для цифровых компетенций на основе количества повторений использования каждой компетенции на всех этапах НИР производится шкалирование по количеству повторений, где:

- 3 — высокая весомость (повторение от 2-3 раз);
- 2 — средняя весомость (повторение от 1-2 раз);
- 1 — низкая весомость (повторение от 0-1 раз).

Для расчета коэффициента весомости для цифровых и нецифровых компетенций относительно количества повторений в каждом этапе выполнения НИР была разработана формула для нецифровых компетенций, которая рассчитывается как умножением числа повторений каждой нецифровой компетенции на индекс шкалирования по количеству повторений деленный на общую весомость всех нецифровых компетенций по повторениям на каждом этапе выполнения НИР.

Формула для расчета общей весомости всех нецифровых компетенций по повторениям на каждом этапе выполнения НИР:

$$K_{\text{общ}}(C) = \frac{\sum U(C)}{g(C)}$$

С учетом введенного шкалирования количества повторений рассчитывается коэффициент весомости для нецифровых компетенций:

$$K(C) = \frac{\sum U(C) * S(C)}{K_{\text{общ}}(C)}$$

где $U(C)$ — количество повторений компетенций в каждом этапе НИР; $S(C)$ — шкалирование по количеству повто-

рений нецифровых компетенций; g — общее количество нецифровых компетенций.

Формула для расчета общей весомости всех цифровых компетенций по повторениям на каждом этапе выполнения НИР:

$$K_{\text{общ}}(DC) = \frac{\sum U(DC)}{h(DC)}$$

С учетом введенного шкалирования количества повторений рассчитаем коэффициент весомости для цифровых компетенций:

$$K(DC) = \frac{\sum U(DC) * S(DC)}{K_{\text{общ}}(DC)} * P_{\text{отн}}$$

где $U(DC)$ — количество повторений компетенций в каждом этапе НИР; $S(DC)$ — шкалирование по количеству повторений нецифровых компетенций; h — общее количество цифровых компетенций.

Итоговый расчет показывает соотношение весомостей $K(C)$ и $K(DC)$, как соотношение:

$$\frac{K(C)}{K(DC)} = \frac{16,31}{17,29} < 1.$$

Результаты, полученные при расчетах весомостей цифровых и нецифровых компетенций, отраженные в табл. 1 и 2, показали, что при неравном соотношении цифровых и нецифровых компетенций равное 2,29 цифровые компетенции имеют большую общую весомость относительно всего количества исследуемых компетенций включая нецифровые компетенции на всех этапах НИР, что показывает необходимость вводить цифровую трансформацию при подготовке и реализации всех этапов выполнения НИР в радиоэлектронной области.

Список литературы

1. ГОСТ Р 15.101—2021 Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2021-11-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2021. – 13 с.
2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению 110401 Радиотехника (квалификация (степень) «магистр») / Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 сентября 2017 г. № 925.
3. Морозов С.А. Цифровая трансформация в образовании: инструменты развития инновационных форм в обучении // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2021. № 1. С. 55-57.
4. Калошина Т.Ю., Севостьянов Д.А. Цифровые компетенции как основа профессиональной конкурентоспособности (на примере подготовки специалистов управленческого профиля) // Профессиональное образование в современном мире. 2022. Т. 12. № 1. С. 105-113.
5. Назаренко М.А., Шмелева А.Н. Оценка уровня качества научно-исследовательской деятельности вуза // Компетентность. – 2023. – № 4. – С. 19-23.
6. Новоселов А.С. Цифровые технологии в НИР и ОКР высокотехнологичных предприятий // Устойчивое и инклюзивное развитие российской экономики в условиях нестабильности. Материалы международной научно-практической конференции. 2022. С. 45-50.
7. Ташбаев А.М., Маликов А.А., Жакшылык К.Г. Цифровые навыки и компетенции для цифровой экономики: модели, структура и виды цифровых навыков // Финансовая экономика. 2020. № 2. С. 430-435.

Шмелёва Алина Николаевна, аспирант, старший преподаватель, shmelyova@mirea.ru, Россия, Москва, МИРЭА - Российский технологический университет,

Назаренко Максим Анатольевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой, nazarenko@mirea.ru, Россия, Москва, МИРЭА - Российский технологический университет

DEVELOPMENT OF A QUALIMETRIC ASSESSMENT OF THE WEIGHT OF DIGITAL COMPETENCIES OF PERSONNEL INVOLVED IN RESEARCH WORK

A.N. Shmeleva, M.A. Nazarenko

A team of authors developed an assessment of the need to introduce digital competencies in the training of scientists to carry out research work in the radio-electronic industry using a qualimetric assessment of the weight of digital and non-digital competencies at all stages of research implementation.

Key words: digital competencies, digital transformation, qualimetric assessment, competencies, weight assessment, quality management, research work.

Shmeleva Alina Nikolaevna, postgraduate, senior lecturer, shmelyova@mirea.ru, Russia, Moscow, MIREA - Russian Technological University,

Nazarenko Maxim Anatolyevich, candidate of physical and mathematical sciences, docent, head of the department, nazarenko@mirea.ru, Russia, Moscow, MIREA - Russian Technological University

Организационно-техническую систему производства полного цикла в дальнейшем будем называть гибкой информационной организационно-технической системой технологической подготовки производства (ГИС ОТС ТПП). В рамках рассматриваемой модели взаимодействия (руководители подразделений, их сотрудники и руководитель организационной системы) анализируем равновесные состояния системы по Нэшу и обосновываем роль руководителя, который выбором параметров организационного механизма взаимодействия в виде оценки показателей качества устанавливает сбалансированное взаимодействие информационных, производственных и функциональных подразделений на основе информационного обмена, побуждая их эффективно управлять деятельностью сотрудников через работу с новым информационным отделом.

В данной системе можно определить целевые функции управляющих элементов: руководителя организационной системы (РОС) (1), руководителя конструкторского подразделения (РКП) (2), руководителя технологического подразделения (РТП) (3), руководителя производственного подразделения (РПП) (4), руководителя информационного отдела (РИО) (5). Целевые функции участников ГИС ОТС ТПП имеют вид:

$$\Phi_o = D(H, y) - \sigma_k(H, \Delta I_k) - \sigma_T(y, \Delta I_T) - \sigma_{II}(y, \Delta I_{II}), \quad (1)$$

$$\Phi_K = \sigma_k(H, \Delta I_k) - \sum_{i=1}^2 \eta_{ik}(\Delta I_{ki}) - \eta_{KT}(\Delta I_{KT}), \quad (2)$$

$$\Phi_T = \sigma_T(y, \Delta I_T) - \sum_{i=1}^3 \eta_{iT}(\Delta I_{Ti}) - \eta_{KT}(\Delta I_{KT}) - \eta_{TII}(\Delta I_{TII}), \quad (3)$$

$$\Phi_{II} = \sigma_{II}(y, \Delta I_{II}) - \sum_{i=1}^3 \eta_{iII}(\Delta I_{iII}) - \eta_{TII}(\Delta I_{TII}), \quad (4)$$

$$\Phi_{II} = \sigma_{II}(p_1) + \sigma_{II}(p_2) + \sigma_{II}(p_3) = \sigma_k(H, \Delta I_k) + \sigma_T(y, \Delta I_T) + \sigma_{II}(y, \Delta I_{II}), \quad (5)$$

где $D(H, y)$ - функция дохода в ГИС ОТС ТПП, $\sigma_k, \sigma_T, \sigma_{II}, \sigma_{II}$ - бюджетные ресурсы подразделений со стороны РОС, $\eta_{ik}, \eta_{iT}, \eta_{iII}$ - функции стимулирования подразделений руководителями за сбалансированное взаимодействие с РИО по поиску документации-аналога, η_{KT}, η_{TII} - функция стимулирования сотрудников подразделений за согласованное взаимодействие между сотрудниками сторонних подразделений, H - качество (надежность) изделия, y - количество выпускаемых изделий, $\Delta I_k, \Delta I_T, \Delta I_{II}$ - количество изменений информации в ТПП при выпуске нового изделия, $\Delta I_{KT}, \Delta I_{TII}$ - количества изменений информации из - за согласования интересов в ГИС ОТС ТПП, p_1 - показатель качества ТПП из-за уменьшения количества доработок, p_2 - показатель качества ТПП из-за уменьшения трудоемкости технологического процесса (ТП), p_3 - показатель качества ТПП из-за повышения технологичности (инновационности) использования средств технологического оснащения (СТО).

Рассмотрим пример применения данной модели сбалансированного взаимодействия в ГИС ОТС ТПП.

Пусть при работе с аналогом в информационном отделе показатели качества были получены следующие $p_1 = 0,2; p_2 = 0,3; p_3 = 0,1$. Так как доход системы в относительном виде $D(H, y) = 1$, то распределение стимулирующих воздействий будет следующее: $\sigma_k = 0,34; \sigma_T = 0,51; \sigma_{II} = 0,16$.

В этом случае в целевой функции руководителя конструкторского подразделения стимулирующие выплаты распределяются в равных долях следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Показатели в целевой функции руководителя конструкторского подразделения

Показатели	Значения
$\eta_{1K}(\Delta I_{k1})$ - стимулирование когнитолога – аналитика в РИО	0,11
$\eta_{2K}(\Delta I_{k2})$ - стимулирование эксперта в РИО	0,11
$\eta_{KT}(\Delta I_{KT})$ - стимулирование за согласование интересов между конструкторским и технологическим подразделениями	0,12

В этом случае в целевой функции руководителя технологического подразделения стимулирующие выплаты распределяются в равных долях следующим образом (табл. 2).

Таблица 2

Показатели в целевой функции руководителя технологического подразделения

Показатели	Значения
$\eta_{1T}(\Delta I_{T1})$ - стимулирование эксперта в РИО	0,1
$\eta_{2T}(\Delta I_{T2})$ - стимулирование разработчика витрин в РИО	0,1
$\eta_{3T}(\Delta I_{T3})$ - стимулирование диспетчера в последовательности записей ТП в РИО	0,1
$\eta_{KT}(\Delta I_{KT})$ - стимулирование за согласование интересов между конструкторским и технологическим подразделениями	0,1
$\eta_{TII}(\Delta I_{TII})$ - стимулирование за согласование интересов между производственным и технологическим подразделениями	0,11

В этом случае в целевой функции руководителя производственного подразделения стимулирующие выплаты распределяются в равных долях следующим образом (табл. 3).

Таблица 3

Показатели в целевой функции руководителя производственного подразделения

Показатели	Значения
$\eta_{1П}(\Delta I_{П_1})$ -стимулирование сопровождающего площадки в РИО	0,04
$\eta_{2П}(\Delta I_{П_2})$ -стимулирование разработчика витрин в РИО	0,04
$\eta_{3П}(\Delta I_{П_3})$ -стимулирование диспетчера по последовательности ТП в РИО	0,04
$\eta_{ТП}(\Delta I_{ТП})$ - стимулирование за согласование интересов между производственным и технологическим подразделениями	0,04

Находим значения целевых функций в системе по формулам (1-5), получаем следующие значения:

$$\Phi_K = 0,34 - 0,11 - 0,11 - 0,12 = 0;$$

$$\Phi_T = 0,51 - 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,11 = 0;$$

$$\Phi_P = 0,16 - 0,04 - 0,04 - 0,04 - 0,04 = 0.$$

В итоге, благодаря сбалансированному взаимодействию по целевым функциям в ГИС ОТС ТПП с введением в систему нового информационного отдела удалось распределить стимулирующие выплаты в системе и добиться требуемых заказчиком показателей качества (надежности) *N* и количества изделий *y*, но это был реализован идеальный случай. В принципе сбалансированное взаимодействие может быть достигнуто и в случае использования нескольких конструкторско-технологических решений, что позволит определить область компромисса при принятии решений в современных условиях, если при текущем уровне производства не получится достигнуть требований заказчика.

Под процессом преобразования ресурсов понимается непрерывный или дискретный процесс преобразования входных данных (ресурсов, необходимых для выполнения процесса) в выходные данные (продукты или результаты выполнения процесса). Компоненты такого процесса представлены в виде структуры, включающей вход, условие запуска, преобразование, средства преобразования и выход. В процессе преобразования ресурсов обычно наблюдается уменьшение входных данных и увеличение выходных данных. В момент выполнения условия запуска уменьшается входной ресурс и происходит захват средств. После завершения преобразования происходит увеличение выходного ресурса и освобождение средств. Таким образом, процесс преобразования ресурсов может описывать большинство процессов, происходящих в окружающей нас среде [3].

Организационно-технические системы характеризуются сложной структурой и многочисленными параметрами, что требует сложных моделей. При разработке таких моделей используются иерархические модульные конструкции и описания внутрисистемных процессов.

Сложные процессы преобразования ресурсов могут быть представлены в виде иерархических декомпозиций, где каждая декомпозиция состоит из более простых элементов процесса. Это позволяет создать многоуровневую иерархическую модель процесса. При построении таких моделей управления, согласно принципам ситуационного управления, на каждом уровне формируются команды для нижележащего уровня.

Сложность управленческих проблем требует предоставления руководителям различных уровней систематической поддержки на всех этапах процесса принятия решений, основанной на использовании современных информационных технологий, способных обеспечить возможность оценки сравнительной эффективности альтернативных вариантов с учетом широкого диапазона непредвиденных осложнений и изменений экзогенных факторов. Важным аспектом при решении поставленных задач и их разбиении на подзадачи являются знания, накопленные на основе предыдущего опыта и анализа накопленной информации [4].

Место, занимаемое маршрутной технологией в процессе многономенклатурного производства, представлено на рисунке 2.

Проектирование технологических процессов на сложное техническое изделие характеризуется большим объемом работ и может содержать до тысячи оригинальных и типовых деталей, а для изготовления изделий такого класса требуется большое количество различных единичных технологических процессов.

В процессе изготовления технического средства элементы его конструкции подвергаются изменениям в связи с постоянной доработкой. Это приводит к необходимости изменения технологической документации и, как следствие, маршрутных карт [5].

Маршрут технологического процесса представляет собой описание маршрутов движения по цеху изготавливаемой детали. Маршрутный технологический процесс оформляется в виде маршрутной карты, в которой устанавливается перечень и последовательность технологических операций, тип оборудования, на котором эти операции будут выполняться, применяемая оснастка, а также укрупненная норма времени без указания переходов и режимов обработки.

Один и тот же технологический процесс может быть реализован разными маршрутами.

В рамках проведенных нами исследований были выделены отдельные классы маршрутов, названные неконфигурируемыми. Это маршруты, специфицированные под группу деталей, имеющих собственные параметры (размеры и габариты, вид покрытия; основная форма деталей – плоские и круглые). Однако в таких маршрутах зачастую происходит замена не операции, а оборудования (или групп оборудования), что влечет за собой изменение норм трудоемкости на переналадку и настройку средств производства и на изготовление деталей.

В процессе разработки ТП на изготовление детали новой модификации (нового исполнения) проектировщиком могут быть использованы решения, наработанные опытным путем.

Важнейшей задачей ТПП является оснащение производства точной технологической документацией, после проведения которого, а также поставки основных и вспомогательных материалов, изготовления оснастки

осуществляется запуск изделия в производство. Главную роль в процессе производства принимает на себя проектировщик (диспетчер), регулирующий последовательность и приоритетность выполнения заказа среди множества других заказов.



Рис. 2. Последовательность проектирования ТП

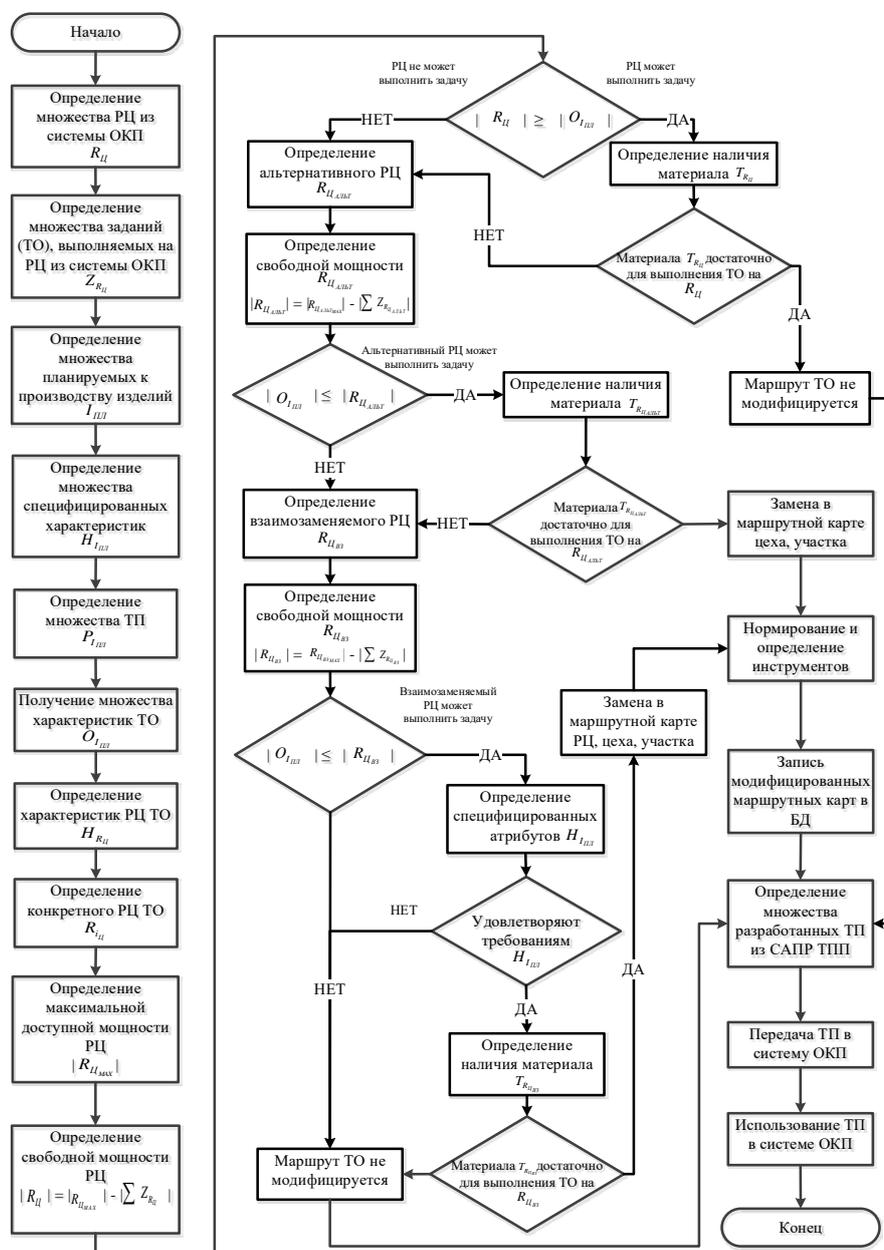


Рис. 3. Алгоритм преобразования средств производства в технологическом процессе

Информационное взаимодействие субъектов, участвующих в поддержке жизненного цикла, должно осуществляться в едином информационном пространстве, в связи с чем необходима непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий.

В жизненном цикле изделия проектирование маршрута ТП занимает около 20 % общего времени, так как технологу требуется учитывать только рабочие средства реализации технологических операций и самому определять выбор того или иного средства производства.

Более значимым на практике является наполнение маршрутной карты сформированного ТП, содержание которой определяется множеством характеристик производственного плана и ограничениями производственных ресурсов предприятия.

Отражение в маршрутной карте доступных в момент изготовления данных ТП дает возможность точнее планировать загрузку производства.

Наиболее часто используемыми методами проектирования технологических маршрутов являются:

1. Метод заимствования технологии детали-аналога (частный случай – метод адресации).
2. Метод проектирования унифицированных (типовых и групповых) ТП.
3. Метод синтеза ТП.

В основе метода заимствования технологии детали-аналога лежит подбор детали-аналога, для которой ранее был спроектирован ТП (прецедент).

Для реализации этого метода необходимо иметь развитые поисковые средства, специализированную производственную онтологию и механизмы взаимодействия с ней. В базе данных такой системы должны находиться поисковые образцы деталей и их технологические процессы. С помощью поиска осуществляется подбор деталей-аналогов и на основе децимальных обозначений деталей производится поиск технологических процессов на выбранные детали-аналоги (рис.3).

Найденный технологический процесс используется в качестве исходного варианта, позволяющего перейти на следующий уровень проектирования – уровень операций. Проектировщик, исходя из своего опыта, проводит преобразование маршрута, выстраивая правильные последовательности выполнения технологических операций относительно параметров детали, и таким образом получает необходимый рабочий технологический маршрут маршрутной карты. При этом качество получаемого процесса зависит от результатов поиска детали-аналога.

Поиск в онтологии [6] выполняется по общим характеристикам детали, например по габаритам (длина, диаметр, ширина) и конструктивной форме по коду ЕСКД [7]. Поэтому все детали, рассматриваемые в конкретном производстве, должны быть представлены адекватными интерпретациями и занесены в базу данных.

Процесс накопления базы данных онтологии является постепенным. Чем полнее будет база данных, тем выше вероятность нахождения детали-аналога. Число деталей в базе может достигать сотни тысяч. Трудоемкость создания такой базы зависит от полноты информации о детали, которая заносится в базу данных.

Наиболее простым вариантом является заполнение базы данных по общим характеристикам. Результаты поиска по общим характеристикам будут неточные, то есть в выборку попадет множество деталей со схожими характеристиками, но сам поиск будет идти быстрее. Если характеристики детали полностью отражены в БД, то поиск будет выполняться более точно, но заполнение такой БД будет трудоемким.

Технология изготовления найденных деталей-аналогов может быть устаревшей и не подходить для заданной детали. В ТП изготовления аналога может быть использовано технологическое оснащение, которое не используется в производстве, или технологические процессы изготовления детали-аналога и проектируемой детали могут значительно отличаться. В таких случаях найденный процесс заимствовать будет трудно. Потребуется доработка выбранного ТП в оперативном порядке с использованием доступных средств автоматизации.

Метод синтеза ТП основан на синтезе технологических маршрутов и операций. Типизация решений в данном случае выполняется, как правило, на уровне перехода. При этом выделяются промежуточные состояния для каждой детали и выбираются методы их обработки.

Список литературы

1. ГОСТ 3.1102–2011. Единая система технологической документации (ЕСТД). Стадии разработки и виды документов. Общие положения. [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200086388> (дата обращения: 10.02.2024).
2. Гречников, Ф.В. Хаймович, И.Н. Разработка информационных систем управления конструкторско-технологической подготовкой производства как интегрированной базы информационных и функциональных структур/ Ф.В. Гречников, И.Н. Хаймович // Кузнечно-штамповочное производство. М., 2008. №3. С. 34–41.
3. Хаймович, И.Н. Методологические аспекты создания единого информационного пространства предприятия с использованием PDM - системы // Известия Самар. науч. центра РАН. Самара, 2008. №1. С. 10–15.
4. Хаймович И.Н. Модели и методы, используемые при внедрении информационных систем конструкторско-технологической подготовки производства, при ограничении на ресурсы // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки. Самара, 2008. Выпуск 21. С. 114–117.
5. Бурдо Г.Б. Интеллектуальные процедуры проектирования технологических процессов в интегрированных САПР / Г. Б. Бурдо, Н. А. Семенов, А. А. Исаев // Программные продукты и системы. 2014. № 1 (105). С. 60–64.
6. Боргест Н.М., Симонова Е.В. Основы построения мультиагентных систем, использующих онтологию: учебное пособие. Самара: СГАУ, 2009.
7. ГОСТ 3.1121–84. Единая система технологической документации (ЕСТД). Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции). [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012117> (дата обращения: 10.02.2024).
8. Гришин М.В. Теоретические основы процессов повышения эффективности подготовки авиационных производств / М. В. Гришин, С. Н. Ларин // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности: сборник докладов Международной научно-практической конференции. Казань: Изд-во Казанского гос. технич. ун-та, 2014. Т. 1. С. 335–338.

Ларин Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, larinmars@rambler.ru, Россия, Ульяновск, Ульяновский государственный университет

FORMATION OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL STRUCTURES IN COMPLEX FULL CYCLE PRODUCTION SYSTEM

S.N. Larin

The article discusses a new flexible information organizational and technical system for technological preparation of production, and models this system. Within the framework of the interaction model under consideration (heads of departments, their employees and the head of the organizational system), the equilibrium states of the system are analyzed and the role of the manager is substantiated, who by choosing the parameters of the organizational mechanism of interaction in the form of assessing quality indicators establishes a balanced interaction of information, production and functional departments based on information exchange, encouraging them to effectively manage employee activities through working with the new information department.

Key words: organizational and technical system, quality indicators, modeling, organizational and technical solutions.

Larin Sergey Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, larinmars@rambler.ru, Russia, Ulyanovsk, Ulyanovsk State University

УДК 006.1

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-589-590

НОРМАТИВНЫЙ ТЕЗАУРУС ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА СЫРЬЯ ИЗ МАМОНТОВОЙ КОСТИ

Д.О. Доронин, Н.М. Куприков, Д.Д. Ноговицын

В целях национальных интересов Российской Федерации по развитию деятельности в Арктике необходимо обеспечить единство и точность измерений при производстве сырья из мамонтовой кости (ископаемых остатков мамонтового фаунистического комплекса) и определить порядок взаимодействия заинтересованных сторон. В статье предлагается нормативный тезаурус в области метрологического обеспечения производства сырья из мамонтовой кости, в первую очередь бивня мамонта. Предлагаемый материал ляжет в основу национального стандарта на термины и определения. В статье предложены термины и соответствующие им определения, собранные в результате анализа литературных источников, и наиболее точно характеризующие объекты производства сырья и его метрологического обеспечения.

Ключевые слова: мамонт, стандарт, термины и определения, бивень, сырьё, метрологическое обеспечение.

Ископаемые остатки мамонтовой фауны является природным ресурсом, а ее биогенное происхождение определило своеобразие изучения как полезного ископаемого, в настоящей момент мамонтовая кость не включена в Общероссийский классификатор полезных ископаемых и подземных вод (ОКПИИПВ) в раздел 1.4.5 «Прочие полезные ископаемые». В первую очередь это связано, с одной стороны, со сравнительно не большим объемом рынка (в масштабах добычи и экспорта топливно-энергетических полезных ископаемых), а с другой – с отсутствием нормативно- правовой и методической основ по теме работы [1-3].

В целях реализации Концепции развития сбора, изучения, использования, переработки и реализации палеонтологических материалов мамонтовой фауны на территории Республики Саха (Якутия) (утвержденной Распоряжением Глава Республики Саха (Якутия) от 13 августа 2018 г. № 649-РГ) был разработан нормативный тезаурус в помощь экспертам и производителям.

Основная проблематика статьи. Цель разработки тезауруса заключается в создании нормативно-правовой основы для промышленных перспектив россыпной костеносности Арктической зоны Российской Федерации.

Основным объектом добычи сырья является мамонтовый бивень – ископаемый окаменевший верхний резец черепа мамонта. А также ископаемые остатки мамонтовой фауны, представляющие собой части тела видов древней мамонтовой фауны, извлеченные из земли. К ископаемым остаткам относят скелет, туши, мягкие ткани, органические жидкости.

В настоящее время мамонтовую кость добывают при попутном сборе. Это вид пользования природными ресурсами по сбору бивней мамонта и других ископаемых остатков мамонтовой фауны коренными народами Республики Саха (Якутия), в том числе коренными малочисленными народами Севера, в процессе традиционной хозяйственной деятельности. Либо по лицензии органов государственной власти Республики Саха.

Отдельное внимание уделяется этике попутного сбора ископаемых остатков мамонтовой фауны, представляющих собой свод правил, определяющий порядок сбора, упаковки, транспортировки и хранения ископаемых остатков мамонтовой фауны. В настоящий момент идет разработка свода правил, с целью его узаконивания на региональном и в перспективе национальном уровне.

После добычи и консервации сырья происходит разделение материала по сортам в зависимости от их качества. Авторы выделяют 6 сортов – 1 сорт наилучшее качество – 6 сорт – это мелкий лом из костей и бивней.

Если конкретно рассматривать мамонтовый бивень, то он обладает некоторыми уникальными особенностями.

Во-первых, это линии Ретциуса, специфический узор, образуемый на эмали зубов. Для мамонтового бивня характерной особенностью является угол (угол Шрегер), образуемый линиями Ретциуса. Он всегда острый.

Во-вторых, это мергелизация бивня – Процесс разложения бивня мамонта. При этом образуется микроскопическая прослойка фосфатов, имеющих синий, зеленый и красный оттенок.

Качество сырья определяется по результатам экспертизы – проведении экспертом или экспертной организацией исследований мамонтовых остатков, в целях подтверждения их происхождения и качества сырья, основываясь на национальных стандартах.

В процессе создания изделий из мамонтового бивня используются не только цельные бивни лучших сортов. Одним из популярных материалов является восстановленный цельный мамонтовый бивень – изделие, созданное на основе низкосортных бивней и/или их фрагментов, подвергнутых различным технологическим операциям таким как, склейка кусков, шпаклёвка трещин и зазоров пастой на основе эпоксидного компаунда и порошка из вещества бивней, рихтовка, шлифовка, полировка, окраска и лакировка с целью установка металлических стержней. А также искусственная мамонтовая кость, представляющая собой композитный материал, состоящий из смеси мамонтовой кости и иного материала, не являющегося частью скелета мамонта. Например, костный порошок ископаемых остатков мамонтовой фауны – порошок, получаемый при перемалывании костей ископаемой мамонтовой фауны.

А для декорирования и инкрустации используют лом ископаемых остатков мамонтовой фауны – разломанные куски и фрагменты костей мамонтовой фауны.

Заключение. Таким образом в статье рассмотрены некоторые термины и соответствующие им определения, разработанные или найденные по литературным источникам с целью создания унифицированного нормативного тезауруса. Термины из статьи войдут в национальный стандарт ГОСТ Р «Ископаемые остатки мамонтовой фауны. Термины и определения» членами технического комитета по стандартизации № 487 «Ископаемые остатки мамонтовой фауны».

Список литературы

1. Лазарев П.А. Крупные млекопитающие антропогена Якутии. Новосибирск: Наука, 2008, 158 с.
2. Лазарев П.А., Боскоров Г.Г., Тихонов А.Н., Саввинов Г.Н. По следам мамонтов: экспедиции, исследования и выставки Музея мамонта. Акад. Наук Респ. Саха (Якутия), Ин-т приклад. экологии Севера, Музей мамонта, Якутск, 2007, 79 с.
3. Смирнов А.Н. Закономерности размещения, условия формирования и сохранности россыпей ископаемой мамонтовой кости в Российской Арктике: дис. доктора. г.-м. наук 25.00.11. СПб., 2005, 275 с.

Доронин Денис Олегович, инженер 1-й категории, doroninden@gmail.com, Россия, Санкт-Петербург, Всероссийский НИИ метрологии имени Д. И. Менделеева,

Куприков Никита Михайлович, канд. техн. наук, доцент, nkuprikov@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Всероссийский НИИ метрологии имени Д. И. Менделеева,

Ноговицын Дмитрий Дмитриевич, директор, ndmdm@mail.ru, Россия, Якутск, ФБУ «Якутский ЦСМ»

REGULATORY THESAURUS FOR METROLOGICAL SUPPORT OF PRODUCTION OF RAW MAMMOT BONE

D.O. Doronin, N.M. Kuprikov, D.D. Nogovitsyn

For the purposes of the national interests of the Russian Federation in developing activities in the Arctic, it is necessary to ensure the unity and accuracy of measurements in the production of raw materials from mammoth bone (fossil remains of the mammoth faunal complex) and determine the procedure for interaction between interested parties. The article proposes a normative thesaurus in the field of metrological support for the production of raw materials from mammoth bone, primarily mammoth ivory. The proposed material will form the basis of the national standard for terms and definitions. The article proposes terms and corresponding definitions, collected as a result of analysis of literary sources, and most accurately characterizing the objects of production of raw materials and their metrological support.

Key words: mammoth, standard, terms and definitions, tusk, raw materials, metrological support

Doronin Denis Olegovich, 1st category engineer, doroninden@gmail.com, Russia, St. Petersburg, All-Russian Research Institute of Metrology named after D. I. Mendeleev,

Kuprikov Nikita Mikhailovich, candidate of technical sciences, docent, nkuprikov@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, All-Russian Research Institute of Metrology named after D. I. Mendeleev,

Nogovitsyn Dmitiy Dmitrievich, director, ndmdm@mail.ru, Russia, Yakutsk, FBU «Yakutsky CSM»

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ВЕРТИКАЛЬНО ИНТЕГРИРОВАННЫХ ОТРАСЛЕВЫХ КОМПАНИЯХ ПО ПРИНЦИПУ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

И.Д. Сидельников

Статья посвящена проблеме оптимизации структуры энергетического хозяйства в вертикально интегрированных отраслевых компаниях (ВИОК) российского нефтегазового комплекса. Автор делает акцент на рациональном энергосбережении и использовании избыточных энергетических ресурсов предприятий. В статье представлена постановка оптимизационной задачи, изложена разработанная автором модель, позволяющая определить параметры ресурсного взаимодействия предприятий ВИОК с учетом использования избыточных энергоресурсов.

Ключевые слова: нефтегазовый комплекс, избыточные энергоресурсы, оптимизация, структура компании, энергетика.

Территориально-производственные комплексы в промышленности строятся на тесных технологических связях предприятий, и интегрированы в вертикальные отраслевые компании [1].

Принцип вертикальной интеграции, несмотря на весь накопленный положительный мировой опыт в различных отраслях, приводит к появлению определенных организационно-экономических проблем, связанных с нерациональной организационной структурой, отсутствием налаженного ресурсного взаимодействия, общей неэффективностью процессов [4,7]. Жестко выстроенные вертикальные связи в компаниях, отсутствие горизонтальных связей между предприятиями усложняют задачи стратегического планирования деятельности всех участников на всех стадиях [9]. Можно выделить основные «болевые» точки современного менеджмента промышленных предприятий при попытках реализовать программы ресурсо и энергосбережения:

отсутствие стратегического подхода к оптимизации; планирование оптимального использования ресурсов предполагает оптимизацию энергетического хозяйства по всему территориально-производственному интегрированному комплексу, а не по отдельным предприятиям;

оптимизация структуры энергетического хозяйства вертикально интегрированного комплекса должна обеспечивать минимум по главному экономическому критерию – приведенным затратам при условии сопоставимости при сравнении различных вариантов схем энергоснабжения и энергопотребления;

оптимальное планирование деятельности всего комплекса должно строиться по принципу ресурсосбережения, обеспечивая экономию за счет использования вторичных, побочных и избыточных энергетических ресурсов; при этом существующие национальные стандарты в области ресурсосбережения определяют и унифицируют основные понятия, связанные с ресурсосбережением [3,6].

Безусловно, что решение вышеперечисленных проблем в планировании невозможно без совместного рассмотрения связей между предприятиями и внутренних связей каждого предприятия [8]. С другой стороны, развитие внутреннего энергетического рынка в стране приводит к появлению новых возможностей за счет внедрения новых технологий в электроэнергетических системах и системах централизованного теплоснабжения, полной автоматизации и цифровизации сетей [2,9].

Внутри практически любой вертикально интегрированной отраслевой компании (ВИОК) в машиностроительной отрасли можно выделить предприятия-производители продукции/энергии (ПРЭ) и предприятия-потребители продукции/энергии (ПЭ).

Возможны две ситуации, связанные с использованием энергетического ресурса. Если энергетический потенциал одного предприятия используется на другом предприятии ВИОКЕ, то внешняя связь первого предприятия будет являться замкнутой относительно всей компании. Если же энергетический потенциал одного предприятия не используется в ВИОКе, соответствующую внешнюю связь назовем разомкнутой относительно этого комплекса. Разомкнутые связи могут вообще не использоваться в рамках данной ВИОК.

С другой стороны, эти связи могут использоваться в других компаниях, отраслевых комплексах и энергосистемах – например, в жилищно-коммунальном хозяйстве может использоваться тепло и электроэнергия. В таком случае мы получаем задачу оптимизации ВИОК с учетом внешней системы (другой компании или энергосистемы).

Задача оптимизации структуры отечественных ВИОК осложняется тем фактом, что в существующих промышленных компаниях часто отсутствуют связи между предприятиями, или эти связи выстроены еще в советское время и не оптимальным образом с точки зрения эффективности использования ресурсов. Поэтому первым этапом должна решаться задача определения оптимальной структуры (связей) и параметров энергетического хозяйства предприятий ВИОК в условиях использования вторичных энергоресурсов. Результаты такой оптимизации могут привести к изменению существующих внутренних связей отдельных предприятий и/или появлению новых.

Затем, на следующем этапе, решается задача совместной оптимизации выбора первичных энергоресурсов и использования вторичных ресурсов для всех предприятий ВИОК, что дает возможность определить оптимальную структуру и параметры энергетического хозяйства ВИОК. Результаты такой оптимизации могут привести к значительной реконструкции существующих производств, вызванной заменой энергоносителей, что потребует серьезных инвестиций вплоть до полной замены устаревшего оборудования. Но, с другой стороны, в стратегической перспективе это позволит выстроить тесную связь при решении меж и внутри отраслевых задач.

На третьем этапе задача оптимизации структуры энергетического хозяйства ВИОК решается с учетом возможности изменения производственных программ предприятий, и результаты этой оптимизации позволят сформировать программ развития энергетики всего вертикально интегрированного комплекса ВИОК с учетом роста производства и строительства новых предприятий в комплексе.

Рассмотрим постановку такой оптимизационной задачи для условной ВИОК нефтегазового комплекса, в которую входят m предприятий-потребителей и n предприятий-производителей. Примем, что энергетические связи между предприятиями-потребителями отсутствуют, и не будем включать в рассмотрение внутреннюю структуру каждого предприятия ВИОК.

Предприятия-производители производят основной продукт и энергию, которая затем передается на сторону (тепло, электроэнергия, горючий газ). Предприятия-потребители, в свою очередь, производят продукт, потребляя энергию от производителей. При этом потребители имеют техническую возможность работать, обеспечивая заданный выпуск основной продукции (допускается заданный недоотпуск), и используя поступающую избыточную энергию от производителей в виде следующих наборов ресурсов:

- пара, топлива (горючего газа) и электроэнергии;
- пара и электроэнергии;
- пара и топлива;
- топлива и электроэнергии.

Эффективное использование ресурсов предполагает такую структуру ВИОК, при которой достигается минимум приведенных затрат, представляющий сумму затрат производства и приведенных капитальных вложений [5].

Таким образом, задача оптимизации состоит в следующем: необходимо определить такую структуру связей между предприятиями ВИОК, при которой будут обеспечиваться минимальные приведенные затраты, связанные с использованием избыточной энергии предприятий-производителей. Такая задача может рассматриваться как с учетом, так и без учета связей с внешней средой (в виде других энергосистем и комплексов).

Математическая модель данной задачи выглядит следующим образом. Необходимо найти минимум целевой функции J , представляющей сумму приведенных затрат, связанных с использованием избыточной энергии предприятий-производителей, в том числе затрат на энергетические связи ВИОК с внешней средой:

$$J = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^p S_{i,j,q} \frac{1}{\beta_j} a_{i,q} x_{i,j,q} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^p S_{i,j,q}^* + \sum_{l=1}^k S_l C_l \quad (1)$$

в условиях следующих ограничений:

$$m \sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^p a_{i,q} x_{i,j,q} = k_{i,q} \lambda_i y_i + C_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^p a_{i,q} x_{i,j,q} = \gamma_j \beta_j z_j + C_j \quad (3)$$

$$a_{i,j,q} \leq x_{i,j,q} \leq b_{i,j,q} \quad (4)$$

$$A_i \leq C_i \leq B_i \quad (5)$$

$$A_j \leq C_j \leq B_j \quad (6)$$

где $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$; $q = 1, \dots, p$; y_i - выпуск основной продукции i -м производителем (т/год); z_j - выпуск основной продукции j -м потребителем (т/год); $x_{i,j,q}$ - количество передаваемой энергии вида q от i -го производителя к j -му потребителю (ед. энергии/год), $q = 1, 2, 3$, где 1- пар, 2- электроэнергия, 3- топливо; C_l - количество энергии, поступающей из внешней системы или уходящей в систему (т. условного топлива/год); $S_{i,j,q}$ - энергетическая составляющая удельных приведенных затрат на единицу продукции (энергии), произведенной j -м потребителем с использованием энергетического ресурса вида q , поступившего от i -го производителя; данные затраты определены с учетом приведения сравниваемых вариантов использования энергетических ресурсов в сопоставимый вид (руб/т); $S_{i,j,q}^*$ - составляющая приведенных затрат, отражающая капиталовложения и эксплуатационные затраты без учета энергетической составляющей (руб/год); S_l - удельные затраты на энергию, поступающую дополнительно из внешней системы или уходящую в систему по связи l (i -го производителя, j -го потребителя), (руб/т. условного топлива); β_j - удельный расход энергии на выработку продукции j -м потребителем (т. условного топлива на 1 т. продукции); λ_i - удельный расход энергии на выработку продукции i -м производителем (т. условного топлива на 1 т. продукции); γ_j - доля энергии, получаемой j -м потребителем от предприятий-производителей для заданного объема выпуска z_j ; $k_{i,q}$ - доля энергетического ресурса вида q , вырабатываемой i -м производителем при заданном объеме выпуска по его основному продукту; $a_{i,q}$ - удельный расход топлива на выработку энергии вида q i -м производителем (т. условного топлива на единицу энергии).

Определение удельных приведенных затрат представляет собой отдельную задачу, «предоптимизационный» этап планирования.

Уравнения (2) и (3) задают балансовые соотношения предприятий производителей (2) и предприятий – потребителей (3). Ограничение (4) задает верхнюю и нижнюю границы использования энергетических ресурсов (количество передаваемой энергии $x_{i,j,q}$ не должно быть больше требуемого объема для выпуска продукции j -м потребителем).

Необходимо отметить, что третье слагаемое в целевой функции (1) может иметь разные знаки:

- если энергия поступает из внешней системы, знак «+»;
- если энергия не поступает, следовательно, значение целевой функции уменьшается за счет отсутствия затрат на энергетические связи ВИОК с внешней средой и перед третьим слагаемым знак «-».

Дальнейшие перспективы развития промышленного комплекса предполагают создание эффективной системы производства и реализации продукции, использующей экономически обоснованное использование избыточных, вторичных и побочных энергетических ресурсов. Но отсутствие инструментов, позволяющих определить оптимальную структуру и параметры энергетического хозяйства ВИОК, не позволяет внедрить на практике принципы ресурсосбережения, что отрицательным образом сказывается на экономической эффективности предприятий. Усложнение и масштабирование организационных структур на фоне слабых горизонтальных связей между предпри-

тиями не позволяет выстроить рациональное энергопотребление в ВАОК, построенное на использовании избыточных ресурсов. Представленная модель позволит выстроить эффективное ресурсное взаимодействие, реорганизовать существующие и создать новые связи для затрат и выполнения заданных производственных программ.

Список литературы

1. Бикулова М. А. Нефтеперерабатывающие предприятия как элемент нефтегазовой отрасли // Молодой ученый. 2019. №49. С. 163-168.
2. Бушуев В.В., Куричев Н.К., Громов А.И. Энергетическая стратегия - 2050: методология, вызовы, возможности // ЭСКО. Энергетика и промышленность. 2013. № 6. С. 14-19.
3. ГОСТ Р 52106-2003 Ресурсосбережение. Общие положения.
4. Кислицын Е.В., Панова М.В., Шишков Е.И. Проблемы предприятий нефтегазового комплекса России: тенденции и пути решения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/15EVN317.pdf> (доступ свободный)
5. Лагоша Б.А. Оптимальное управление в экономике: Учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2003. 192 с.
6. Омельченко И.Н., Александров А.А., Бром А.Е., Белова О.В. Основные направления развития логистики XXI века: ресурсосбережение, энергетика и экология // Гуманитарный вестник. 2013. № 10(12). С.10.
7. Остроухова Н.Г. Особенности реинжиниринга бизнес-процессов предприятиях энергетики // Наукосведение. 2013. № 6 (19). С. 79.
8. Бром А.Е., Сидельников И.Д. Функциональное предназначение возвратных потоков в машиностроении // В сборнике: Устойчивое развитие и новая индустриализация: наука, экономика, образование. Материалы конференции. Москва, 2021. С. 18-22.
9. Сидельников И.Д. Бром А.Е. Определение времени восстановительного ремонта при организации возвратных потоков и рециклинга в машиностроении // Наука и бизнес: пути развития. 2020. №4 (106). С. 47-50.

Сидельников Иван Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент, bauman@bmstu.ru, Россия, Москва, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

RESOURCE SAVING MODEL FOR OIL AND GAS COMPANIES TAKING INTO ACCOUNT THE USE OF EXCESS ENERGY RESOURCES.

I.D. Sidelnikov

The article is devoted to the problem of optimization of the structure of the energy economy in vertically integrated industry companies (VIOC) of the Russian oil and gas complex. The authors emphasize rational energy saving and use of excess energy resources of enterprises. The article presents the setting of the optimization task, describes the model developed by the authors, which allows to determine the parameters of resource interaction of VIOC enterprises taking into account the use of excess energy resources.

Key words: oil and gas complex, excess energy resources, optimization, company structure, energy.

Sidelnikov Ivan Dmitrievich, candidate of technical sciences, docent, bauman@bmstu.ru, Russia, Moscow, Bauman Moscow State Technical University

УДК 005.6

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-593-594

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО КОНТЕНТА

В. Г. Мосин, В.Н. Козловский

В работе исследуется метод, определяющий влияние выбросов на производительность регрессионных моделей. На примере данных о потреблении контента показано, что исключение аномальных объектов способно существенно повысить их прогнозирующую способность. Даны рекомендации по применению метода исключения аномальных данных.

Ключевые слова: контент, оценка качества, анализ данных, сингулярные разложения, детекция аномалий, удаление выбросов, регрессионные модели, scikit-learn, pandas, numpy, SVD.

1. Введение. Выбросы представляют собой наблюдения, которые значительно отклоняются от остальных значений в наборе данных. Хорошо известно, что выбросы оказывают существенное влияние на прогнозирующую способность моделей машинного обучения, поэтому важно учитывать их в анализе данных и принимать меры для их предварительной обработки с целью нивелировать влияние аномальных значений на производительность и эффективность моделей машинного обучения [6, 7].

Одним из основных негативных факторов наличия выбросов и их влияния на модели машинного обучения является искажение статистических показателей данных, таких как среднее значение, медиана и стандартное отклонение. Это приводит к неправильному определению зависимостей между признаками и целевой переменной, ведь выбросы могут внести существенное искажение в статистику данных [10]. Кроме того, выбросы могут сильно влиять на основные алгоритмы машинного обучения, такие как линейная регрессия или метод ближайших соседей, так как эти модели основываются на расстоянии между наблюдениями, и выбросы могут занимать отдельные области пространства наблюдений. Это может приводить к искажению предсказаний или повышению ошибки модели.

В целом, выбросы в данных могут серьезно повлиять на прогнозирующую способность моделей машинного обучения, поэтому важно учитывать их при анализе данных и выборе подходящих методов обработки выбросов.

1.1. Теоретическая часть. Итак, если в данных есть существенные выбросы, то модель, обучаясь на таких данных, после обучения дает некорректные прогнозы даже на нормальных, не являющихся аномальными, объектах. И наоборот: обучившись на нормальных объектах, модель, получая для прогноза аномальный объект, может дать некорректный прогноз.

Это замечание позволяет нам сформулировать два вполне очевидных принципа работы с нетипичными данными:

1. Обучать модели следует только на типичных объектах.
2. Применять модели следует только к типичным объектам.

Другой вопрос, какие объекты считать типичными, другими словами, что есть норма и что есть аномалия в имеющихся для обучения и во вновь поступающих для прогноза данных. Если обучающие данные размечены по принципу «норма/аномалия», то определение выбросов — это просто задача бинарной классификации. Если же такой разметки нет, то ситуация существенно усложняется.

Один из способов детекции аномалий на неразмеченных данных состоит в применении сингулярных разложений: методом SVD определяются главные направления в облаке обучающих данных, вычисляются проекции объектов подпространства, порожденные одним, двумя или несколькими главными направлениями и вычисляется так называемая реконструкционная ошибка, то есть расстояние от объекта до его проекции. Объекты с наибольшей реконструкционной ошибкой признаются выбросами.

1. 2. Постановки задачи

1.2.1. Предмет исследования. Исследуется прогнозирующая способность нескольких регрессионных моделей до и после удаления выбросов.

1.2.2. Методика исследования. Применяя метод сингулярных разложений, мы вычисляем реконструкционные ошибки объектов обучающих данных и устанавливаем порог отсека на уровне определенного перцентиля (99%, 98%, 97% и так далее, до 90%). Объекты, превысившие порог отсека, признаются выбросами и удаляются, после чего на очищенных данных обучается регрессионная модель. В качестве ее метрики эффективности мы используем коэффициент детерминации, который вычисляем на тестовых данных, после того, как к ним применяется тот же метод очистки от выбросов.

1.2.3. Цель исследования. Наша цель — выяснить, приводит ли удаление выбросов к существенному повышению коэффициента детерминации.

1. 3. Технологии. В настоящей работе мы используем среду jupyter notebook для анализа и обработки данных. Она предоставляет удобные инструменты для работы с python и его основными библиотеками: numpy, pandas, scikit-learn и matplotlib [1, 2].

Библиотека numpy играет важную роль в научных вычислениях и обработке массивов данных в python. Она предлагает эффективные структуры данных, алгоритмы и функции для работы с числовыми массивами разных размерностей. В данной работе мы активно применяем сингулярные разложения, которые реализованы в numpy в модуле linalg, в качестве ключевого приема для обработки данных [4].

Лучшей библиотекой для работы с данными в python является pandas. Она тесно интегрируется с другими инструментами для анализа и обработки данных на платформе python, такими как numpy, scikit-learn и matplotlib. Обеспечивая эффективные средства для обработки информации, pandas также предлагает множество алгоритмов и функций для анализа и визуализации данных [1].

Для решения регрессионных задач мы применяем библиотеку Scikit-learn, также известную как sklearn. Scikit-learn представляет собой мощный и гибкий инструмент машинного обучения с широким спектром возможностей и удобным интерфейсом.

2. Описание данных. Мы используем данные о потреблении контента одного из ведущих хостингов за период 500 дней, с 2021-08-20 по 2023-01-01. В качестве показателя востребованности контента мы берем общее количество просмотров за сутки, в качестве показателя удовлетворенности — количество лайков. Кроме того, мы используем еще один вспомогательный признак: количество показов значков канала в течение суток для того, чтобы иметь избыточную размерность в пространстве объектов и возможность редукции данных к первому главному направлению.

3. Алгоритм

3.1. Чтение данных. Используя функцию read_csv из библиотеки pandas, загружаем набор данных о потреблении контента и создаем дата-фрейм в текущей среде исполнения программы.

Дата	Просмотры	Показы	Лайки
2023-01-01	475.0	5176.0	16.0
2022-12-31	174.0	2222.0	4.0
2022-12-30	490.0	5584.0	3.0
...
2021-08-22	275.0	4176.0	2.0
2021-08-21	222.0	2976.0	4.0
2021-08-20	209.0	2880.0	1.0

3.2. Разведочный анализ. Далее, мы применяем метод info из библиотеки pandas, чтобы получить информацию о признаках:

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	Просмотры	500 non-null	float64
1	Показы	500 non-null	float64
2	Лайки	500 non-null	float64

Видим, что имеется набор из 500 объектов. Признаком для их индексации служит дата, то есть, сами даты и являются объектами. Все признаки относятся к типу с плавающей запятой и не содержат пропущенных значений.

3.3. Установка начальных значений. В данном алгоритме мы реализуем вложенный цикл по трем уровням:

1. На верхнем уровне мы будем варьировать признаки, используя их поочередно в качестве целевой функции для регрессионной задачи, а оставшиеся два признака — в качестве предикторов модели.

2. На втором уровне мы будем варьировать объем данных, которые мы признаем выбросами, постепенно увеличивая их число.

3. Наконец, на третьем, самом глубоком уровне вложенности мы будем несколько раз воспроизводить случайные разбиения данных на обучающую и тестовую выборки для того, чтобы после усреднения результатов нивелировать эффект случайности.

3.3.1. Начальная целевая функция. Присваиваем значение переменной, под именем которой будет выступать целевая функция: `target='Просмотры'`.

3.3.2 Начальный процент выбросов. Мы будем отсеивать выбросы, используя (100 - K)-й перцентиль от общего объема данных (подробнее об этом см. ниже). На старте цикла устанавливаем K=0.

3.4. Разбиение данных на train и test

Пользуемся модулем `model_selection` из библиотеки `sklearn` и применяем метод `train_test_split` с параметром `test_size=0.2`. В результате получаем два датафрейма: `df_train` с 400 объектами и `df_test` с 100 объектами.

3.5. Приведение обучающих данных к стандартной нормализации

Применяя метод `describe` из библиотеки `pandas` к обучающей выборке, получаем информацию о статистических показателях всех признаков:

	min	mean	max	std
Просмотры	159.00	936.51	2200.00	418.144
Показы	1938.00	8093.78	39479.00	3816.08
Лайки	-6.00	15.80	70.00	9.13

Диапазоны значений для признаков 'Показы' и 'Лайки' сильно отличаются друг от друга, отличие составляет несколько порядков. Чтобы избежать неравномерности в масштабах, применяем процесс нормализации к данным и приводим их к стандартному виду:

$$df_train_norm = (df_train - df_train.mean())/df_train.std()$$

После преобразования, все признаки получают центрированными с нулевыми средними значениями, а их дисперсии становятся единичными. Таким образом, дисбаланс в размерностях исчезает:

	min	mean	max	std
Просмотры	-1.85	0.00	3.02	1.00
Показы	-1.61	0.00	8.22	1.00
Лайки	-2.38	0.00	5.93	1.00

3.6. Приведение тестовых данных к стандартной нормализации. Применяя метод `describe` из библиотеки `pandas` к тестовой выборке, мы получаем сведения о статистиках по всем признакам на тесте:

	min	mean	max	std
Просмотры	126.00	916.10	1805.00	422.82
Показы	1701.00	8418.39	69432.00	6887.19
Лайки	0.00	17.86	63.00	12.48

Для приведения облака тестовой выборки к облаку обучающей выборки, требуется преобразовать данные тестовой выборки с использованием средних и дисперсий обучающей выборки:

$$df_test_norm = (df_test - df_train.mean())/df_train.std()$$

Важно отметить, что после этой процедуры средние значения признаков тестовой выборки отличаются от нуля, а их дисперсии не являются единичными:

	min	mean	max	std
Просмотры	-1.93	-0.04	2.07	1.01
Показы	-1.67	0.08	16.07	1.80
Лайки	-1.73	0.22	5.16	1.36

Это происходит потому, что центр и рассеяние облака были настроены на обучающей выборке заранее (см. шаг 3.5).

3.7. Регрессионная задача до удаления выбросов

3.7.1. Удаление целевой функции. Пользуясь методом `drop` библиотеки `pandas`, удаляем столбец с именем `target` как в обучающем, так и в тестовом датафреймах.

3.7.2. Вывод массивов для регрессионной задачи. Пользуясь методом `to_numpy` библиотеки `pandas`, преобразуем датафреймы к парам массивов: `X_train`, `y_train` и `X_test`, `y_test`. Здесь `X` представляют собой двумерные массивы со значениями предикторов, а `y` — одномерные массивы со значениями целевой функции.

3.7.3. Построение и обучение регрессионной модели. Пользуясь методом `LinearRegression` библиотеки `sklearn`, формируем объект `model`. Затем применяем к нему метод `fit` на обучающих данных `X_train`, `y_train`.

3.7.4. Вывод метрики эффективности. Эффективность модели вычисляем на тестовых данных `X_test`, `y_test`, используя метод `score` библиотеки `sklearn`. Результат записываем в переменную `score_before`.

На этом решение регрессионной задачи без выполнения каких-либо действия по очистке данных закончено. Далее мы будем избавляться от выбросов за счет сингулярных разложений матрицы обучающих данных и решать ту же регрессионную задачу на очищенных данных для того, чтобы сравнить результаты и выяснить, приводит ли удаление выбросов к повышению прогнозирующей способности регрессионной модели.

3.8. Разложение матрицы обучающих данных методом SVD. Сингулярное разложение [3, 8, 9] матрицы X — это способ представления матрицы X в виде произведения двух ортогональных матриц U и V и диагональной матрицы Σ следующим образом:

$$X = U\Sigma V^{-1}$$

При этом столбцы матриц U и V являются левым и правым сингулярными базисами соответственно, а диагональные элементы матрицы Σ являются сингулярными значениями матрицы X . Теорема о сингулярном разложении утверждает, что такое разложение существует для любой матрицы X (а значит, и для нашей матрицы обучающих данных).

3.8.1. Перевод обучающих данных из датафрейма в массив. Данные были разбиты на `train` и `test` выше (см. шаг 3.4) и нормализованы по средним и дисперсиям обучающей части выборки (см. шаг 3.6).

Для осуществления сингулярного разложения данных обучающей выборки мы будем использовать методы библиотеки `numpy`, поэтому перед тем, как приступить к разложению, мы преобразовываем датафрейм `df_train_norm` в массив `numpy`, используя метод `to_numpy` из библиотеки `pandas`. Таким образом, мы получаем двумерный массив `X_train` нужного нам формата.

3.8.2. Разложение SVD. Получение сингулярных базисов U , V и сингулярных значений Σ осуществляется с помощью метода `svd` из модуля `linalg` библиотеки `numpy`. Применение этого метода к матрице `X_train` возвращает три объекта:

1. двумерный массив U , столбцы которого представляют собой левый сингулярный базис,
2. одномерный массив `Sigma`, содержащий значения сингулярных значений и служащий диагональю матрицы Σ .

3. двумерный массив V , представляющий собой обращенную матрицу V из теоремы о сингулярном разложении, его строки образуют правый сингулярный базис.

3.8.3. Координаты обучающих объектов в сингулярном базисе. Если мы умножим матричное равенство из теоремы о сингулярном разложении на матрицу V справа, то оно изменится следующим образом:

$$XV = U\Sigma$$

Отметим, что после нормализации данных они становятся центрированными. Поэтому левая часть этого равенства представляет собой теорему о замене базиса [3]. Другими словами, строки матрицы, которые находятся в левой части, представляют собой координаты точек облака обучающих данных в правом сингулярном базисе.

Для того чтобы получить координаты облака обучающих данных в правом сингулярном базисе, мы создаем массив `S_train` и, с применением метода `dot` из библиотеки `numpy`, присваиваем ему результат матричного произведения массивов `X_train` и $V.T$. Здесь важно отметить, что мы транспонировали правый множитель из-за особенностей реализации алгоритма сингулярного разложения в библиотеке `numpy` (см. сноску выше).

3.9. Редукция обучающих данных к первому главному направлению. Для получения координат редуцированных данных в сингулярном базисе, мы применяем следующий подход. Возьмем массив `S_train`, который был получен ранее, и заменим все столбцы, кроме первого, нулями. Полученному массиву присваиваем имя `S_train_reduce`. В этом массиве строки представляют собой координаты редуцированных данных в сингулярном базисе, но нас интересуют их координаты в исходном базисе. Для этого нам нужно снова воспользоваться теоремой о замене базиса и выполнить обратный переход. Однако на этот раз мы применяем его не к полной матрице `S_train`, а к редуцированной матрице `S_train_reduce`.

Результат матричного произведения массивов `S_train_reduce` и V присваиваем массиву `X_train_reduce`, который получается с использованием метода `dot` из библиотеки `numpy`. Координаты проекций исходных данных на первое главное направление теперь содержатся в строках массива `X_train_reduce`.

3.10. Отклонение объектов, обучающих данных от первого главного направления. Выбросами мы будем считать объекты с высокой реконструкционной ошибкой, которая представляет собой норму разности между редуцированными данными и исходными данными. Другими словами, это расстояние от проекции точки облака данных на первое главное направление до самой точки.

Для вычисления реконструкционной ошибки мы используем модуль `linalg` из библиотеки `numpy` и его метод `norm`. Мы применяем этот метод к разности двумерных массивов `X_train_reduce` - `X_train`, указывая значение атрибута `axis=1`, чтобы норма разности вычислялась именно для строк. Результат сохраняем в одномерном массиве `reconstruction_error_train`, после чего в нем содержатся реконструкционные ошибки всех объектов обучающей выборки.

3.11. Критический порог отклонения. Мы будем определять выбросы в данных путем установления порога для реконструкционной ошибки, причем, этот порог будет зависеть от объема обучающей выборки. Если мы готовы пожертвовать $K\%$ данных при обучении модели, чтобы получить более устойчивую модель, то порог отсечения будет выбран как $(100 - K)$ -й перцентиль массива реконструкционных ошибок.

Для этого мы используем метод `percentil` из библиотеки `numpy` для массива `reconstruction_error_train` и результат применения этого метода записываем в переменную `threshold_train`.

3.12. Аномальные объекты в обучающей выборке. Для получения аномальных объектов обучающей выборки пользуемся методом `where` из библиотеки `numpy`. В данном случае условие метода будет следующим:

$$reconstruction_error_train > threshold_train$$

Результат работы этого метода записываем в массив `anomaly_indices_train`, содержащий индексы объектов, которые мы посчитали выбросами, то есть некий набор номеров.

3.13. Реконструкционная ошибка на тесте. Получение точек тестовой выборки в сингулярном базисе происходит аналогичным тому, как это было сделано на шаге 3.8, где мы проводили эту процедуру по отношению к точкам обучающей выборки. Отметим, что на этом шаге мы не выполняем новое сингулярное разложение для тестовых данных, мы используем правый сингулярный базис из разложения, полученного для обучающей выборки (см. шаг 3.8.2, пункт 3). Умножаем массив `X_test` на массив $V.T$ (как на шаге 3.8.3), в результате получаем двумерный массив `S_test`.

Затем, аналогично шагу 3.9, мы сокращаем этот массив до первого столбца, получая массив `S_test_reduce`, и возвращаемся к исходному базису, умножая сокращенные сингулярные координаты на матрицу `V`. В итоге получается массив `X_test_reduce`, в котором строки представляют собой проекции точек тестовой выборки на первое главное направление обучающей выборки.

После этого массив реконструкционных ошибок тестовых данных `reconstruction_error_test` получается за счет метода `norm` из модуля `linalg` библиотеки `numpy`, так же как и на шаге 3.10.

3.14. Выбросы на тесте. На шаге 3.11 мы получили порог отсечения реконструкционной ошибки, используя $(100 - K)$ -й перцентиль на обучающей выборке. Здесь мы не вычисляем новый перцентиль на тестовой выборке. Наоборот: тот же порог применяется к тестовой выборке:

```
reconstruction_error_test > threshold_train
```

По этому условию индексы нетипичных объектов возвращаются методом `where` из библиотеки `numpy` и записываются в массив `anomaly_indices_test`.

3.15. Удаление выбросов

3.15.1. Удаление выбросов в обучающей выборке. Итак, на шаге 3.4 мы получили обучающую выборку `df_train`, на шаге 3.5 привели ее к стандартному виду `df_train_norm`, а на шаге 3.12 получили индексы аномальных объектов в виде массива `anomaly_indices_train`. Теперь, используя метод `drop` библиотеки `pandas`, мы удаляем из нормализованных обучающих данных `df_train_norm` строки с найденными номерами выбросов.

3.15.2. Удаление выбросов в тестовой выборке. Точно также на шаге 3.4 мы получили тестовую выборку `df_test`, на шаге 3.6 нормализовали ее к стандартному виду `df_test_norm`, а на шаге 3.14 получили массив с индексами аномалий на тесте `anomaly_indices_test`. Теперь, так же как и на шаге 3.15.1 мы удаляем аномальные объекты из тестовой выборки.

3.16. Регрессионная задача после удаления выбросов. Действуя так же, как и на шаге 3.7, обучаем модель на `X_train`, `y_train` и вычисляем ее метрику эффективности на `X_test`, `y_test`. Результат записываем в переменную `score_after`.

3.17. Усреднение результатов случайных разбиений. Повторяем шаги 3.4–3.16 достаточное число раз и усредняем значения переменных `score_before` и `score_after` для того, чтобы сгладить случайные артефакты и получить устойчивые результаты. На иллюстрациях в разделе 4 приведены результаты с повторением 25 раз.

3.18. Увеличение процента выбросов. Увеличиваем значений переменной `K` на 1 и повторяем шаги 3.4–3.17. Этот шаг повторяем 10 раз, значения переменных `score_before` и `score_after` записываем в массивы `score_before_list` и `score_after_list`.

3.19. Перебор целевых функций. Изменяем значение переменной `target` дважды: сначала полагаем `target='Показы'`, а затем `target='Лайки'` и еще дважды воспроизводим шаги с 3.4 по 3.18.

4. Результаты. Мы исследовали поведение всех трех признаков, используя их поочередно в качестве целевой функции регрессионной задачи с оставшимися двумя признаками в качестве предикторов. Нас интересовал вопрос: что будет, если при решении регрессионной задачи удалять из данных некоторое количество нетипичных объектов, постепенно увеличивая их число, и не приведет ли это к повышению прогнозирующей способности регрессионной модели. Результаты исследования таковы.

4.1. Целевая функция 'Просмотры'. Процент объектов, которые мы готовы признать аномальными, изменяется от 0% до 10%. Коэффициент детерминации на неочищенных данных приблизительно постоянен (что и неудивительно, так как мы использовали множественный прогон случайных разбиений, и это нивелировало возможные случайные отклонения) и находится в районе 0.6.

После удаления выбросов коэффициент детерминации составил более 0.8, что говорит об огромной разнице в прогнозирующей способности моделей до и после удаления выбросов.

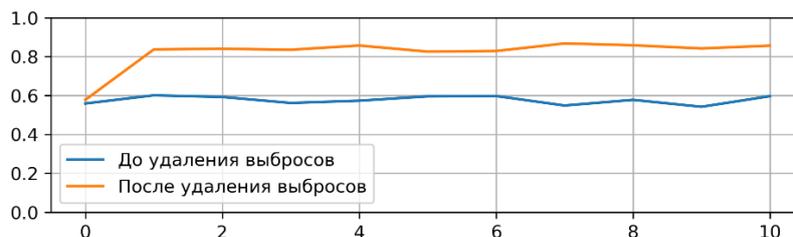


Рис. 1. Целевая функция 'Просмотры'

Поведение кривой коэффициента детерминации таково, что достаточно пожертвовать 1% обучающих данных для качественного повышения производительности регрессионной модели. Дальнейшее увеличение числа отбракованных объектов не приводит к росту прогнозирующей способности.

4.2. Целевая функция 'Показы'. В целом, на этой целевой функции ситуация очень похожая. Процент объектов, которые мы готовы признать аномальными, изменяется от 0% до 10%. Коэффициент детерминации на неочищенных данных приблизительно постоянен и находится в районе 0.5.

После удаления выбросов коэффициент детерминации находится в районе 0.7, и это тоже огромная разница в прогнозирующей способности моделей до и после удаления выбросов.

Пик коэффициента детерминации в районе 3%, скорее всего, случаен. Не случайно то, что качественный сдвиг в сторону улучшения прогнозирующей способности регрессионной модели происходит сразу же: уже при удалении 1% объектов обучающей выборки коэффициент детерминации увеличивается приблизительно на 0.2.

4.3. Целевая функция 'Лайки'. Здесь ситуация принципиально иная. Мы видим, что кривые коэффициентов детерминации практически совпадают (и видимо, при бесконечном увеличении числа прогонов совпадут до неразличимости), а это значит, что удаление выбросов никак не влияет на повышение прогнозирующей способности регрессионной модели.

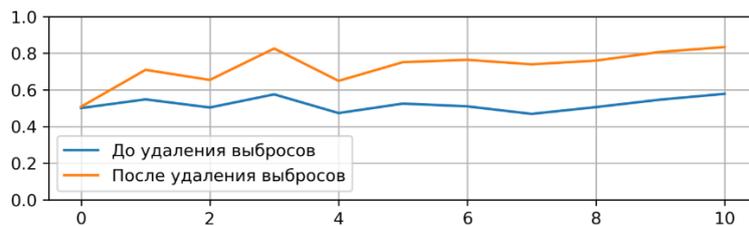


Рис. 2. Целевая функция 'Показы'

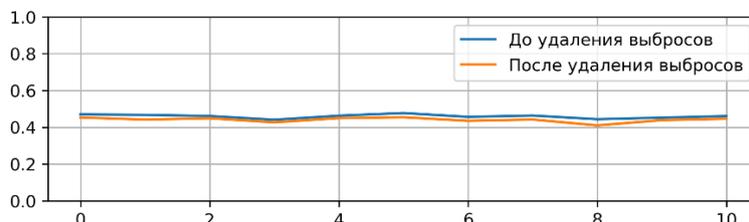


Рис. 3. Целевая функция 'Лайки'

5. Выводы.

Напомним принципы, сформулированные нами в самом начале, во введении к этой работе:

1. Обучать модели следует только на типичных объектах.
2. Применять модели следует только к типичным объектам.

Соотнесем их с полученными результатами. С одной стороны, наши принципы не нашли своего подтверждения, так как мы выяснили, что они не универсальны, и возможны ситуации, когда удаление выбросов не приводит к повышению производительности (см. пункт 4.3). С другой стороны, возможны и оптимистичные сценарии (см. пункты 4.1 и 4.2). Поэтому будет верным скорректировать формулировку наших принципов, добавив к ним условие их справедливости:

1. Если исключение выбросов приводит к повышению производительности, то обучать модели следует только на типичных объектах.

2. Если исключение выбросов приводит к повышению производительности, то применять модели следует только к типичным объектам.

Условие, при котором принципы очистки данных оказываются рабочими и эффективными методами моделирования, требуют предварительного анализа данных и не всегда проявляются. Но то, что есть ситуации, в которых удаление аномальных объектов приводит к существенному эффекту — несомненно.

Список литературы

1. Хейдт М. Изучаем Pandas. Москва: ДМК Пресс, 2018. 438 с.
2. Бурков А. Машинное обучение без лишних слов. СПб: Питер, 2020. 192 с.
3. Вьюгин В.В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М.: МЦИМО. 2013. 387 с.
4. Бринк Х. Машинное обучение / Х. Бринк, Дж. Ричардс, М. Феверолф. СПб.: Питер, 2017. 336 с.
5. Дрейпер Н.Р. Прикладной регрессионный анализ / Дрейпер Н. Р., Смит Г. ; ред. пер. Саит-Аметова М.; Пер. с англ. и ред. пер. Власенко М., Имамутдинова Р. Г., Орехова Н. А., Саит-Аметова М. 3-е изд. М.: Диалектика: Вильямс, 2007. 911 с.
6. Безменов И.В. Метод очистки измерительных данных от выбросов: поиск оптимального решения с минимальным количеством отбракованных результатов измерений // Измерительная техника. 2023. № 1. С. 16-23.
7. Безменов И.В., Дроздов А.Э., Пасынок С.Л. Стратегия поиска выбросов в рядах зашумлённых данных с неизвестным трендом // Измерительная техника. 2022. № 5. С. 29-34.
8. Ахметшина Л.Г. Адаптивная фильтрация шумов методом сингулярного разложения автоморфного отображения // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2006. № 8 (26). С. 12-21.
9. Бурнашев Д.С., Зальгаева М.Е. Реализация рекомендательной системы пользовательских предпочтений на основе сингулярного разложения матриц на языке Python // Труды молодых учёных факультета компьютерных наук ВГУ. Сборник статей. Воронеж, 2023. С. 11-18.
10. Козловский В.Н. Потребительская ценность качества автомобилей / В.Н. Козловский, Г.Л. Юнак, Д.В. Айдаров, С.А. Шанин // Стандарты и качество. 2017. № 12. С. 76-80.

Мосин Владимир Геннадьевич, канд. физ.-мат. наук, yanbacha@yandex.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Козловский Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF REGRESSION MODELS OF CONTENT CONSUMPTION BY ELIMINATING ABNORMAL DATA

V.G. Mosin, V.N. Kozlovsky

The paper investigates a method that determines the effect of outliers on the performance of regression models. Using the example of data on content consumption, it is shown that the exclusion of abnormal objects can significantly increase their predictive ability. Recommendations on the application of the method of exclusion of abnormal data are given.

Key words: content, quality assessment, data science, singular value decomposition, anomaly detection, outlier removal, regression models, scikit-learn, pandas, numpy, SVD.

Mosin Vladimir Gennadievich, candidate of physical and mathematical sciences, docent, yanbacha@yandex.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Kozlovsky Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, head of the department, Kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University

УДК 005.6

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-599-600

ПОНИЖЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ ДАННЫХ МЕТОДОМ SVD НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ О ПОТРЕБЛЕНИИ КОНТЕНТА

В.Г. Мосин, В.Н. Козловский

Статья посвящена проблеме понижения размерности при помощи метода, основанного на сингулярном разложении матрицы данных. Рассмотрен алгоритм преобразования данных к сингулярному базису и последовательного исключения базисных векторов, начиная с самого младшего. На примере данных о потреблении контента пользователями одного из ведущих хостингов проиллюстрированы различные ситуации, возникающие в ходе решения задач машинного обучения с применением алгоритма понижения размерности.

Ключевые слова: контент, оценка качества, анализ данных, сингулярные разложения, понижение размерности, регрессионные модели, scikit-learn, pandas, numpy, SVD.

1. Введение. Современным алгоритмам машинного обучения приходится работать с различными объемами данных, в зависимости от конкретной задачи и доступных ресурсов. В некоторых случаях объем данных может быть относительно маленьким, например, набор данных для классификации может содержать несколько сотен или тысяч объектов. Однако в других случаях, особенно при работе с изображениями, видео, текстом и другими типами данных, объемы могут быть огромными. Например, набор данных ImageNet, который часто используется для обучения моделей распознавания изображений, содержит более 1,2 миллиона изображений [2, 4].

Обработка больших объемов данных требует мощных вычислительных ресурсов и оптимизации алгоритмов для эффективной работы с ними. Один из методов оптимизации состоит в понижении размерности данных, которое является неотъемлемой и важной составляющей в задачах машинного обучения.

В современном мире данные растут в геометрической прогрессии, и каждый день мы сталкиваемся с все большим объемом информации. Несмотря на это, имеются ограничения по ресурсам, времени и эффективности обработки данных [7]. Одна из основных целей машинного обучения — обнаружение скрытых закономерностей и шаблонов в данных. Однако часто они затеряны в обилии и разрозненности информации, и именно здесь понижение размерности данных оказывается важным и необходимым.

Понижение размерности данных заключается в преобразовании высокоразмерного пространства данных в пространство меньшей размерности. Это позволяет сохранить наиболее важные характеристики и структуру данных, устранив при этом лишнюю информацию.

Преимущества алгоритмов понижения размерности данных в задачах машинного обучения, прежде всего, проявляется в улучшение производительности, так как обработка больших объемов данных занимает значительное время и требует больших вычислительных ресурсов, а понижение размерности позволяет уменьшить количество признаков, сокращая время обработки и улучшая производительность алгоритмов обучения.

Отметим, что при понижении размерности данных важно сохранить наиболее значимую информацию. Существуют различные методы понижения размерности, такие как метод главных компонент (PCA) и метод многомерного шкалирования (MDS), которые сохраняют наиболее важные характеристики данных, при этом снижая их размерность.

В настоящей работе мы будем использовать алгоритм понижения размерности, основанный на сингулярном разложении матрицы данных [6].

1.1. Теоретическая часть. Метод понижения размерности данных с использованием сингулярного разложения матрицы данных (SVD) заключается в том, чтобы представить матрицу данных в виде произведения трех матриц: U , Σ и V^{-1} . В этом разложении U — матрица левых сингулярных векторов, содержащая информацию о взаимосвязи между признаками; Σ — диагональная матрица, содержащая сингулярные значения, отражающие значение каждого признака; и, наконец, V^{-1} — матрица правых сингулярных векторов, содержащая информацию о взаимосвязи между объектами данных [3, 6].

Для понижения размерности данных, выполняется переход к сингулярному базису (см. ниже, п. 3.4), после чего можно избавляться от последних координат такого представления данных, так как они наименее информативны. Метод SVD позволяет уменьшить размерность данных, сохраняя при этом основную структуру и взаимосвязи между признаками и объектами. В результате получается компактное представление данных, которое может быть использовано для анализа, визуализации и различных вычислительных задач. Одно из основных преимуществ использования SVD для понижения размерности данных состоит в том, что SVD позволяет сохранить наибольшую часть вариации исходных данных при переходе к матрице меньшего размера. Это помогает сохранить важные свойства данных и уменьшить размерность без значительной потери информации.

1. 2. Постановки задачи

1.2.1. Предмет исследования. Предметом исследования является алгоритм понижения размерности данных, основанный на методе сингулярных разложений, и его влияние на качество данных.

1.2.2. Методика исследования. Для оценки качества редуцированных (то есть, оставшихся после исключения наиболее слабых компонент) данных мы выстраиваем серию последовательных регрессионных задач для прогнозирования значений одного из признаков, объявленных целевой функцией, на основании значений предикторов, в качестве которых выступают все оставшиеся признаки датафрейма. Индикатором качества данных служит коэффициент детерминации регрессионной модели: чем сильнее падает его величина, тем сильнее снижается качество данных [5].

1.2.3. Цель исследования. Применить понижение размерности к данным о потреблении контента пользователями одного из ведущих хостингов и установить границы применения алгоритма понижения размерности.

1.3. Технологии. Мы используем среду Jupyter Notebook для обработки и анализа данных. Она дает удобные инструменты для работы с языком программирования Python, а также его основными библиотеками: NumPy, Pandas, Scikit-learn и Matplotlib [1, 2].

Библиотека NumPy является неотъемлемым инструментом для научных вычислений и обработки массивов данных в Python. Она предоставляет эффективные структуры данных, алгоритмы и функции для работы с одномерными и многомерными числовыми массивами.

Pandas — самая мощная библиотека для работы с данными в Python. Она плотно интегрируется с другими инструментами для анализа и обработки данных на платформе Python, такими как NumPy, Scikit-learn и Matplotlib. Pandas обеспечивает эффективные средства для обработки информации, а также множество алгоритмов и функций для анализа и визуализации данных [1].

Для решения регрессионных задач мы применяем библиотеку Scikit-learn, также известную как sklearn. Scikit-learn представляет собой мощный и гибкий инструмент машинного обучения с широким спектром возможностей и удобным интерфейсом.

2. Описание данных. В качестве данных для исследования используются сведения о потреблении контента пользователями одного из ведущих хостингов. Данные о потреблении содержат записи по 500 датам, с 2021-08-20 по 2023-01-01, каждый объект описан при помощи 18 признаков, подробное описание структуры данных см. ниже, в п. 3.2.

3. Алгоритм

3.1. Чтение данных. Применяем функцию read_csv из библиотеки pandas, загружаем набор данных и создаем дата-фрейм в среде исполнения:

Дата	Просмотры	Время просмотра (часы)	Поделились	...	Дизлайки	Лайки
2023-01-01	475.0	21.2038	9.0	...	0.0	16.0
2022-12-31	174.0	5.4814	1.0	...	0.0	4.0
2022-12-30	490.0	17.8182	3.0	...	1.0	3.0
...
2021-08-22	275.0	10.4130	1.0	...	0.0	2.0
2021-08-21	222.0	10.5967	0.0	...	2.0	4.0
2021-08-20	209.0	8.6935	0.0	...	0.0	1.0

3.2. Разведочный анализ. При помощи метода info библиотеки pandas выводим сведения о признаках:

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	Просмотры	500 non-null	float64
1	Время просмотра (часы)	500 non-null	float64
2	Поделились	500 non-null	float64
3	Постоянные зрители	500 non-null	float64
4	Новые комментарии	500 non-null	float64
5	Отказались от подписки	500 non-null	float64
6	Новые подписчики	500 non-null	float64
7	Новые зрители	500 non-null	float64
8	Среднее число просмотров одним пользователем	500 non-null	float64
9	Уникальные зрители	500 non-null	float64
10	CTR для значков видео (%)	500 non-null	float64
11	Показы	500 non-null	float64
12	Подписчики	500 non-null	float64
13	Средний процент просмотра (%)	500 non-null	float64
14	Процент лайков	500 non-null	float64
15	Средняя продолжительность просмотра	500 non-null	float64
16	Дизлайки	500 non-null	float64
17	Лайки	500 non-null	float64

Данные содержат 500 записей, все записи относятся типу с плавающей запятой, пропущенных данных нет.

3.3. Установка стартовых значений. В данном алгоритме мы будем использовать вложенный двухуровневый цикл:

- на внешнем уровне мы будем выбирать один из признаков датафрейма в качестве целевой функции регрессионной задачи и преобразовывать данные к сингулярному базису,
- на внутреннем уровне — решать регрессионную задачу и вычислять ее скор, постепенно понижая размерность данных.

На этом шаге алгоритма мы вводим переменную `target` и присваиваем ей стартовое значение `target='Просмотры'`.

3.4. Переход к сингулярному базису. Сингулярное разложение матрицы — это ее представление в виде произведения:

$$X = U\Sigma V^{-1},$$

где U и V — ортогональные матрицы, а Σ — диагональная матрица той же конфигурации, что и X . Столбцы матриц U и V называются соответственно левым и правым сингулярными базисами, а диагональные элементы матрицы Σ — сингулярными значениями матрицы X .

Если данное выше соотношение умножить на матрицу V справа, то получится равенство:

$$XV = U\Sigma,$$

где левая часть представляет собой теорему о замене базиса. То есть, после выполнения матричного умножения в левой части строки будут представлять собой координаты объектов в сингулярном базисе. Именно эту идею мы реализуем на этом шаге алгоритма.

3.4.1. Построение облака предикторов. Пользуясь методом `drop` библиотеки `pandas`, удаляем из датафрейма столбец целевой функции.

3.4.2. Нормализация данных. После исключения целевой функции 'Просмотры' левая часть регрессионной задачи содержит 17 признаков. Пользуясь методом `describe` библиотеки `pandas`, выводим их статистику:

	min	mean	max	std
Время просмотра (часы)	5.48	37.17	96.72	16.64
Поделились	0.00	6.96	71.00	6.25
Постоянные зрители	30.00	163.34	463.00	78.90
Новые комментарии	0.00	0.53	6.00	0.83
Отказались от подписки	0.00	2.77	29.00	2.55
Новые подписчики	0.00	6.49	19.00	3.51
Новые зрители	60.00	366.83	735.00	174.01
Среднее число просмотров одним пользователем	1.31	1.79	2.85	0.21
Уникальные зрители	96.00	530.18	1103.00	239.22
CTR для значков видео (%)	1.25	5.54	8.52	1.11
Показы	1938.00	8093.78	39479.00	3816.08
Подписчики	-23.00	3.72	15.00	4.02
Средний процент просмотра (%)	18.68	26.72	41.29	3.41
Процент лайков	0.00	92.02	100.00	10.31
Средняя продолжительность просмотра	96.07	144.33	211.02	15.66
Дизлайки	0.00	1.28	10.00	1.34
Лайки	-6.00	15.80	70.00	9.13

Видим существенный дисбаланс номиналов: например, 'Показы' отличаются от 'Дизлайков' на несколько порядков. Чтобы выровнять значения признаков, приводим их значения к единой шкале за счет нормализации к стандартному виду с нулевым средним и единичной дисперсией:

	min	mean	max	std
Время просмотра (часы)	-1.90	0.00	3.57	1.00
Поделились	-1.11	0.00	10.23	1.00
Постоянные зрители	-1.69	0.00	3.79	1.00
Новые комментарии	-0.64	0.00	6.57	1.00
Отказались от подписки	-1.08	0.00	10.27	1.00
Новые подписчики	-1.84	0.00	3.55	1.00
Новые зрители	-1.76	0.00	2.11	1.00
Среднее число просмотров одним пользователем	-2.23	0.00	4.92	1.00
Уникальные зрители	-1.81	0.00	2.39	1.00
CTR для значков видео (%)	-3.84	0.00	2.67	1.00
Показы	-1.61	0.00	8.22	1.00
Подписчики	-6.63	0.00	2.80	1.00
Средний процент просмотра (%)	-2.35	0.00	4.26	1.00
Процент лайков	-8.92	0.00	0.77	1.00
Средняя продолжительность просмотра	-3.08	0.00	4.25	1.00
Дизлайки	-0.95	0.00	6.49	1.00
Лайки	-2.38	0.00	5.93	1.00

3.4.3. Вывод данных в массив `numpy`. При помощи метода `to_numpy` из библиотеки `pandas` мы преобразуем датафрейм в массив, который записываем в переменную `X`.

3.4.4. Сингулярное разложение матрицы данных. К массиву `X` применяем метод `SVD` из модуля `linalg` библиотеки `numpy`. Этот метод возвращает сразу три объекта:

1. двумерный массив U (столбцы которого образуют левый сингулярный базис);
2. одномерный массив Σ (элементы которого служат диагональю матрицы Σ);
3. и двумерный массив V (который представляет собой уже обращенную матрицу V , то есть, строки этого массива образуют правый сингулярный базис).

3.4.5. Переход к сингулярному базису. Пользуясь методом `dot` библиотеки `numpy`, выполняем матричное умножение, используя в качестве левого множителя массив X , а в качестве правого — массив $V.T$, который получается из V при помощи транспонирования. Результат записываем в переменную S , строки которой теперь содержат координаты объектов, описанные в сингулярном базисе.

3.5. Установка стартового значения для внутреннего цикла. Во внутреннем цикле мы будем постепенно удалять компоненты из датафрейма, начиная с самого младшего. В начале цикла устанавливаем количество удаленных компонент $K=1$.

Кроме того, по мере изменения параметра K мы будем на каждом шаге вычислять коэффициент детерминации возникающей новой регрессионной модели. Для того чтобы иметь все их значения, нам понадобится список. Мы заводим этот список и в начале цикла присваиваем ему постое значение: `score=[]`.

3.6. Построение и обучение регрессионной модели на редуцированных данных в сингулярном базисе. Для левой части регрессионной задачи мы используем срез массива $S[:, : -K]$, который удаляет из массива S последние K столбцов, а в качестве правой части — столбец с именем `target` исходного (то есть, не нормализованного) датафрейма.

При помощи метода `LinearRegression` библиотеки `sklearn` мы формируем объект `model`, к которому применяем метод `fit`, в результате чего получаем обученную модель.

3.7. Вычисление коэффициента детерминации. В качестве метрики эффективности регрессионной модели мы используем коэффициент детерминации R^2 . В библиотеке `sklearn` он реализован как метод `score` (если последний применен к объекту класса `LinearRegression`). Вызываем метод `score`, применяем его к объекту `model` и результат присоединяем к списку `score`, который изначально мы объявили пустым (см. шаг 3.5).

Тем самым, мы получаем первое значение для списка метрик эффективности серии наших моделей. Напомним, что пока мы использовали стартовые значения алгоритма: целевая функция — это признак 'Просмотры', число исключенных измерений равно 1.

3.8. Дальнейшее уменьшение размерности. Увеличиваем счетчик K на 1 и повторяем шаги 3.6–3.7, наращивая список `score` до 10 позиций (то есть, последовательно уменьшая размерность пространства задачи на величину до 10 измерений).

3.9. Перебор целевых функций. Во внешнем цикле изменяем значение целевой функции на следующее: `target='Время просмотра (часы)'` и повторяем шаги 3.4–3.8. Затем переходим к следующему признаку и т. д. В итоге получаем 18 списков (по числу признаков датафрейма) длины 10 каждый, содержащие значения соответствующих коэффициентов детерминации.

4. Результаты. Результаты представлены в следующей сводной таблице:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Просмотры	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97	0.97	0.96
Время просмотра (часы)	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.95	0.95	0.94
Поделились	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25
Постоянные зрители	0.99	0.98	0.92	0.87	0.85	0.83	0.83	0.82	0.82	0.78
Новые комментарии	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19
Отказались от подписки	1.00	0.99	0.99	0.99	0.96	0.68	0.45	0.45	0.45	0.38
Новые зрители	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90
Среднее число просмотров одним пользователем	0.78	0.78	0.73	0.67	0.67	0.32	0.18	0.17	0.17	0.10
Уникальные зрители	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96
CTR для значков видео (%)	0.74	0.74	0.74	0.73	0.72	0.54	0.54	0.54	0.54	0.51
Показы	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.85	0.85	0.83
Подписчики	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.92	0.92	0.65
Средний проц. просмотра (%)	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.87
Процент лайков	0.41	0.41	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.18
Средняя продолжительность просмотра	0.91	0.91	0.89	0.89	0.88	0.87	0.87	0.86	0.85	0.55
Дизлайки	0.54	0.54	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.48
Лайки	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.51

Здесь нулевая позиция означает решение регрессионной задачи на полных данных, а последующие — понижение размерности на соответствующее число измерений.

Во всей таблице наблюдается вполне предсказуемое понижение метрики прогнозирующей способности по мере исключения компонент, однако, с точки зрения практической применимости моделей, признаки датафрейма делятся на три категории. А именно: если принять в качестве приемлемого значения коэффициента детерминации $R^2=0.9$, то категории содержат следующие признаки.

4.1. Признаки, устойчивые к понижению размерности. Берем последнюю колонку и отмечаем все признаки, для которых значение коэффициента детерминации $R^2 \geq 0.9$. К таковым относятся:

'Просмотры', 'Новые комментарии', 'Новые зрители', 'Уникальные зрители'.

Для этих признаков понижение размерности на 10 измерений (считая от 0) не приводит к критическому падению метрики эффективности.

4.2. Непрогнозируемые признаки. Берем первую колонку и отмечаем все признаки, для которых $R^2 < 0.9$. Обнаруживаем следующие признаки:

'Поделились', 'Новые комментарии', 'Среднее число просмотров одним пользователем', 'CTR для значков видео (%)', 'Процент лайков', 'Дизлайки', 'Лайки'.

Эти признаки изначально, без предварительной обработки данных и понижения размерности не обеспечивают достаточной надежности регрессионного прогноза, понижать размерность для таких целевых функций нет никакого смысла.

4.3. Признаки с порогом понижения размерности. Берем признаки, для которых коэффициент детерминации в первой колонке $R^2 \geq 0.9$, а в последней колонке $R^2 < 0.9$. Этим свойством обладают признаки:

'Постоянные зрители', 'Отказались от подписки', 'Показы', 'Подписчики', 'Средний процент просмотра (%)', 'Средняя продолжительность просмотра'.

Для того чтобы, используя эти признаки в качестве целевой функции, оставаться в пределах допустимых значений коэффициента детерминации, мы можем понижать размерность данных в соответствии со следующими ограничениями:

'Постоянные зрители' — не более чем на 2 измерения;

'Отказались от подписки' — не более чем на 4 измерения;

'Показы' — не более чем на 6 измерений;

'Подписчики' — не более чем на 8 измерений;

'Средний процент просмотра (%)' — не более чем на 8 измерений;

'Средняя продолжительность просмотра' — не более чем на 1 измерение.

5. Выводы. Разделение признаков на три типа:

1. признаки, устойчивые к понижению размерности,

2. непрогнозируемые признаки,

3. признаки с порогом понижения размерности,

свидетельствует о том, методу понижения размерности нельзя давать однозначную оценку.

С одной стороны, понижение размерности данных приводит к естественному выигрышу во времени исполнения алгоритмов машинного обучения и в объеме памяти, необходимом для хранения и обработки информации. Однако с другой стороны, это же понижение размерности может привести к необоснованному снижению качества модели и ее способности давать обоснованный и точный прогноз.

В целом, можно сказать, что возможность допустимого понижения размерности данных существенно зависит структуры данных от решаемой задачи машинного обучения. Для принятия решения о понижении размерности необходимо провести предварительные исследования и применять этот метод только в том случае, когда понижение размерности не противоречит целям и задачам обработки данных.

Список литературы

1. Хейдт М. Изучаем Pandas. Москва: ДМК Пресс, 2018. 438 с.
2. Бурков А. Машинное обучение без лишних слов. СПб: Питер, 2020. 192 с.
3. Вьюгин В.В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М.: МЦИМО. 2013. 387 с.
4. Бринк Х., Ричардс Х., Феверолф М. Машинное обучение. СПб.: Питер, 2017. 336 с.
5. Дрейпер Н.Р. Прикладной регрессионный анализ / Дрейпер Н.Р., Смит Г.; ред. пер. Саят-Аметова. М.: Диалектика: Вильямс, 2007. 911 с.
6. Минин А.С. Применение сингулярного разложения для понижения размерности в анализе данных // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 99-7. С. 55-58.
7. Козловский В.Н. Потребительская ценность качества автомобилей / В.Н. Козловский, Г.Л. Юнак, Д.В. Айдаров, С.А. Шанин // Стандарты и качество. 2017. № 12. С. 76-80.

Мосин Владимир Геннадьевич, канд. физ.-мат. наук, yanbacha@yandex.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Козловский Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет

DATA DIMENSIONALITY REDUCTION USING THE SVD METHOD FOR CONTENT CONSUMPTION DATA

V.G. Mosin, V.N. Kozlovsky

The article is devoted to the problem of dimensionality reduction using a method based on the singular value decomposition of the data matrix. An algorithm for converting data to a singular basis and sequentially eliminating the basis vectors, starting with the youngest, is considered. Using the example of data on content consumption by users of one of the leading hosting companies, various situations that arise during solving machine learning problems using a dimensionality reduction algorithm are illustrated.

Key words: content, quality assessment, data science, singular value decomposition, data dimensionality reduction, regression models, scikit-learn, pandas, numpy, SVD.

Mosin Vladimir Gennadievich, candidate of physical and mathematical sciences, docent, yanbacha@yandex.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Kozlovsky Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, head of the department, Kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННОГО КОНТЕНТА. РАЗБИЕНИЕ ДАННЫХ О ПОТРЕБЛЕНИИ КОНТЕНТА НА ОПТИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО КЛАСТЕРОВ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМА KMEANS

В.Г. Мосин, В.Н. Козловский

Статья посвящена методу определения оптимального числа кластеров при выполнении кластеризации KMeans. Предложена метрика эффективности разбиения, изложены последовательные шаги алгоритма для ее вычисления. На примере данных о потреблении контента пользователями одного из ведущих хостингов показана состоятельность предложенного метода.

Ключевые слова: контент, оценка качества, анализ данных, кластеризация, KMeans, scikit-learn, pandas, numpy.

1. Введение. Определение количества кластеров в алгоритмах кластеризации — это важный этап анализа данных, который требует обдумывания и экспертных оценок. Часто определение количества кластеров происходит на основе интуиции или предварительных знаний о данных и задаче. У ученых и экспертов в области данных может быть опыт или понимание, которое помогает им сделать предположение о подходящем количестве кластеров [3, 7].

Однако часто бывает необходимо исключить экспертную оценку (например, если кластеризация осуществляется в рамках более сложного алгоритма в режиме реального времени) и настроить гиперпараметры алгоритма кластеризации, основываясь на объективных методах, а не на человеческой интуиции.

Один из подходов к решению этой задачи рассматривается в настоящей статье.

1.1. Теоретическая часть. Несмотря на то, что кластеризация данных относится к задачам машинного обучения без учителя, и, тем самым, не требует разбиения данных на обучающую (то есть, заранее размеченную) и тестовую выборки, мы произведем такое разбиение для того, чтобы получить возможность сравнить два результата кластеризации. Если результаты окажутся близкими, мы будем считать, что разбиение проведено на верное число кластеров, в противном случае будем пытаться подобрать другое разбиение [2].

Для сравнения различных разбиений нам понадобится некоторая метрика их качества, и чтобы ее получить, мы вводим две матрицы принадлежности, которые показывают, принадлежат ли два объекта одному кластеру, или же они принадлежат разным кластерам.

1.1.1. Матрица принадлежности M_{train_test} . Итак, мы разбили данные на обучающую и тестовую выборки. Обучаем алгоритм KMeans на обучающей выборке и применяем обученный алгоритм к тестовой выборке. После этого каждый объект тестовой выборки получает метку принадлежности к тому или иному кластеру. Матрица M_{train_test} определяется как квадратная матрица, порядок которой равен объему тестовой выборки, а элемент с номером (i, j) равен 1, если метки i -го и j -го объектов равны между собой, или 0, если они различны.

1.1.2. Матрица принадлежности M_{test} . Обучаем алгоритм KMeans на тестовой выборке и применяем обученный алгоритм к ней самой. После этого каждый объект тестовой выборки получает метку принадлежности к тому или иному кластеру. Аналогично предыдущему пункту матрица M_{test} определяется как квадратная матрица, порядок которой равен объему тестовой выборки, а элемент с номером (i, j) равен 1, если метки i -го и j -го объектов равны между собой, или 0, если они различны.

Теперь у нас есть две матрицы принадлежности одного для одного и того же набора объектов. Разумно предположить, что разбиение проведено качественно, если эти матрицы похожи друг на друга. И наоборот: если они сильно отличаются, разумно предположить, что такое разбиение менее качественно.

1.1.3. Метрика качества разбиения. Рассмотрим разность матриц:

$$M_{train_test} - M_{test}.$$

Понятно, что чем больше в ней нулей, тем более они похожи. Вычисляем количество нулевых элементов в разности матриц принадлежности и, чтобы получить возможность сравнивать результаты кластеризации на множествах разных объемов, нормализуем это число путем деления на общее количество компонент (то есть, на квадрат объема тестовой выборки). То, что получается в результате — это доля совпадений в матрицах принадлежности. Именно ее мы будем использовать как оценку качества разбиения: чем ближе доля совпадений к единице, тем качественнее разбиение.

1.2. Постановка задачи

1.2.1. Предмет исследования. Предметом нашего исследования является метод оценки качества кластеризации, основанный на матрицах принадлежности.

1.2.2. Методика исследования. Мы будем последовательно вычислять метрику качества в разных ситуациях и сравнивать получающиеся результаты. Поскольку, результаты естественным образом зависят от двух параметров:

1. от числа кластеров, на которые проводится разбиение,
2. от пропорции, в которой разбиваются данные на обучающую и тестовую выборки,

наша методика будет состоять в выполнении вложенного цикла: внутренний цикл мы будем вести по объему тестовой выборки, а внешний — по числу кластеров.

1.2.3. Цель исследования. Наша цель — продемонстрировать эффективность предложенного метода на примере данных о потреблении контента пользователями одного из ведущих хостингов.

1.3. Технологии. Для проведения расчетов и визуализации результатов мы применяем среду jupyter notebook и язык программирования python вместе с его библиотеками: pandas, sklearn и matplotlib. Библиотека pandas является мощным инструментом для анализа данных. Она предоставляет эффективные и интуитивно понятные структуры данных, которые позволяют эффективно оперировать с табличными данными [1]. Библиотека sklearn, также известная как scikit-learn, является одной из наиболее популярных библиотек машинного обучения в python. Она обладает широким спектром инструментов и алгоритмов для решения различных задач, таких как классификация, регрессия, кластеризация, снижение размерности и другие [4]. Библиотека matplotlib предоставляет разнообразные возможности для создания визуализаций, таких как графики, диаграммы, изображения и многое другое [4].

2. Описание данных. В качестве данных для исследования используются сведения о потреблении контента пользователями одного из ведущих хостингов. Данные содержат записи, индексированные датами с 2021-08-20 по 2023-01-01, каждый объект описан при помощи 18 признаков, подробное описание структуры данных см. ниже, в п. 3.2.

3. Алгоритм

3.1. Чтение данных. При помощи функции `read_csv` из библиотеки `pandas`, читаем набор данных:

Дата	Просмотры	Время просмотра (часы)	Поделились	...	Дизлайки	Лайки
2023-01-01	475.0	21.2038	9.0	...	0.0	16.0
2022-12-31	174.0	5.4814	1.0	...	0.0	4.0
2022-12-30	490.0	17.8182	3.0	...	1.0	3.0
...
2021-08-22	275.0	10.4130	1.0	...	0.0	2.0
2021-08-21	222.0	10.5967	0.0	...	2.0	4.0
2021-08-20	209.0	8.6935	0.0	...	0.0	1.0

Записываем датафрейм в переменную `df`.

3.2. Разведочный анализ. Применяем метод `info` библиотеки `pandas` и выводим сведения о признаках:

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	Просмотры	500 non-null	float64
1	Время просмотра (часы)	500 non-null	float64
2	Поделились	500 non-null	float64
3	Постоянные зрители	500 non-null	float64
4	Новые комментарии	500 non-null	float64
5	Отказались от подписки	500 non-null	float64
6	Новые подписчики	500 non-null	float64
7	Новые зрители	500 non-null	float64
8	Среднее число просмотров одним пользователем	500 non-null	float64
9	Уникальные зрители	500 non-null	float64
10	CTR для значков видео (%)	500 non-null	float64
11	Показы	500 non-null	float64
12	Подписчики	500 non-null	float64
13	Средний процент просмотра (%)	500 non-null	float64
14	Процент лайков	500 non-null	float64
15	Средняя продолжительность просмотра	500 non-null	float64
16	Дизлайки	500 non-null	float64
17	Лайки	500 non-null	float64

В данных содержатся 500 записей, относящихся типу с плавающей запятой, пропущенных данных нет.

3.3. Нормализация данных. Применяя метод `describe` библиотеки `pandas` к датафрейму `df`, получаем статистику признаков:

	min	mean	max	std
Время просмотра (часы)	5.48	37.17	96.72	16.64
Поделились	0.00	6.96	71.00	6.25
Постоянные зрители	30.00	163.34	463.00	78.90
Новые комментарии	0.00	0.53	6.00	0.83
Отказались от подписки	0.00	2.77	29.00	2.55
Новые подписчики	0.00	6.49	19.00	3.51
Новые зрители	60.00	366.83	735.00	174.01
Среднее число просмотров одним пользователем	1.31	1.79	2.85	0.21
Уникальные зрители	96.00	530.18	1103.00	239.22
CTR для значков видео (%)	1.25	5.54	8.52	1.11
Показы	1938.00	8093.78	39479.00	3816.08
Подписчики	-23.00	3.72	15.00	4.02
Средний процент просмотра (%)	18.68	26.72	41.29	3.41
Процент лайков	0.00	92.02	100.00	10.31
Средняя продолжительность просмотра	96.07	144.33	211.02	15.66
Дизлайки	0.00	1.28	10.00	1.34
Лайки	-6.00	15.80	70.00	9.13

Такие значения говорят о том, что показатели признаков могут отличаться на порядки, что, безусловно, приведет к искажению результатов. Чтобы избежать дисбаланса значений, выполняем стандартную нормализацию данных:

$$df = (df - df.mean())/df.std()$$

где метод `mean` возвращает средние значения признаков, а метод `std` — их средние квадратичные отклонения. После нормализации метод `describe` показывает:

	min	mean	max	std
Время просмотра (часы)	-1.90	0.00	3.57	1.00
Поделились	-1.11	0.00	10.23	1.00
Постоянные зрители	-1.69	0.00	3.79	1.00
Новые комментарии	-0.64	0.00	6.57	1.00
Отказались от подписки	-1.08	0.00	10.27	1.00
Новые подписчики	-1.84	0.00	3.55	1.00
Новые зрители	-1.76	0.00	2.11	1.00
Среднее число просмотров одним пользователем	-2.23	0.00	4.92	1.00
Уникальные зрители	-1.81	0.00	2.39	1.00
CTR для значков видео (%)	-3.84	0.00	2.67	1.00
Показы	-1.61	0.00	8.22	1.00
Подписчики	-6.63	0.00	2.80	1.00
Средний процент просмотра (%)	-2.35	0.00	4.26	1.00
Процент лайков	-8.92	0.00	0.77	1.00
Средняя продолжительность просмотра	-3.08	0.00	4.25	1.00
Дизлайки	-0.95	0.00	6.49	1.00
Лайки	-2.38	0.00	5.93	1.00

Таким образом, теперь дисбаланс ликвидирован, все признаки приведены к единой шкале, и разница в единицах измерения не повлияет на результаты нашего исследования.

3.4. Стартовые значения параметров алгоритма. Мы будем варьировать два параметра: 1) процент P , который отводится на объем тестовой выборки, и 2) число кластеров N , на которое будут разбиваться обучающая и текстовая выборки. В начале алгоритма мы устанавливаем $P=10$ (затем в цикле мы доведем значение этой переменной до 90 с шагом 10), $N=2$ (это значение мы доведем до 10 с шагом 1).

3.5. Разбиение данных на обучающую и тестовую выборки. Применяя к датафрейму `df` метод `train_test_split` из модуля `model_selection` библиотеки `sklearn` и указав при этом значение параметра `test_size=0.1` (что как раз соответствует 10% от общего объема выборки), получаем два датафрейма: `df_train` и `df_test`. Объем обучающей выборки `df_train` составляет 90% от 500 объектов, то есть, 450 объектов, объем тестовой выборки `df_test`, соответственно — 50 объектов.

3.6. Преобразование данных в массивы `pumpy`. Библиотека `sklearn` взаимодействует с массивами `pumpy`, поэтому полученные выше датафреймы `df_train` и `df_test` нам нужно перевести в формат `pumpy`. Для этого применяем метод `to_pumpy` к этим датафреймам и получаем два массива: `X_train` и `X_test`.

3.7. Формирование моделей кластеризации. При помощи метода `KMeans` из модуля `cluster` библиотеки `sklearn` формируем два объекта класса модель кластеризации: модель `clust_train`, которую мы будем применять к обучающим данным, и модель `clust_test`, которую применим к тестовым данным. В качестве количества кластеров, на которые нужно разбивать данные, указываем `n_clusters=N` (напомним, что на старте алгоритма $N=2$, а затем увеличивается с каждой итерацией).

3.8. Применение моделей кластеризации. При помощи метода `fit` из модуля `cluster` библиотеки `sklearn` обучаем обе модели. При этом первую `clust_train` модель учим на массиве `X_train`, а вторую модель `X_test` — на массиве `X_test`.

3.9. Формирование меток кластеров на тестовых данных

3.9.1. Модель `clust_train`. Применяем метод `predict` модели `clust_train`, указав в качестве аргумента тестовый массив `X_test`. В результате получаем массив меток `labels_train_test`, указывающий, к каким кластерам относятся объекты тестовой выборки с точки зрения модели, обученной на обучающей выборке.

3.9.2. Модель `clust_test`. Применяем метод `labels_` к модели `clust_test`. В результате получаем массив меток `labels_test`, указывающий к каким кластерам относятся объекты тестовой выборки, с точки зрения модели, обученной на тестовой выборке.

3.10. Формирование матриц принадлежности. Формируем матрицу `M_train_test` по следующему правилу: если i -я и j -я метки массива `labels_train_test` равны между собой, то $(i$ -я, j -я) компонента матрицы `M_train_test` равна 1, иначе это 0.

Аналогично формируем матрицу `M_train_test`, используем при этом массив `labels_test`.

3.11. Вычисление доли совпадений. Вычисляем разность `M_train_test - M_test`. Это квадратная матрица, порядок которой равен объему тестовой выборки. Чем больше в этой матрице нулей, тем более похожими являются разбиения на кластеры объектов тренировочной и тестовой выборок. Вычисляем число нулевых значений этой матрицы и результат делим на количество ее компонент (то есть, на квадрат объема тестовой выборки). Результат — это число из промежутка от 0 до 1, которое и есть доля совпадений в матрицах принадлежности.

3.12. Повторные запуски. Чтобы нивелировать случайные артефакты при разбиении данных, которое мы осуществили на шаге 3.5, повторяем шаги с 3.5. по 3.11 достаточное число раз (в настоящем исследовании мы использовали 100 повторных запусков), получаем серию значений для доли совпадений и усредняем их по числу запусков.

Результат записываем в массив `estimate`. На старте алгоритма этот массив получает одно число, а затем, с изменением объема тестовой выборки, он нарастает до девяти чисел.

3.13. Цикл по объемам тестовой выборки. Возвращаемся к шагу 3.4, увеличиваем процент тестовой выборки $P=P+10$ и повторяем шаги с 3.5 по 3.11 до тех пор, пока не достигнем 90% объема.

После этого в массиве estimate находятся девять чисел (см. первую строку сводной таблицы из раздела 4).

3.14. Цикл по числу кластеров. Возвращаемся к шагу 3.4, увеличиваем число кластеров $n_clusters=n_clusters+1$ и повторяем шаги с 3.5 по 3.11 до тех пор, пока не достигнем разбиений на 10 кластеров.

После этого получается девять массивов estimate (см. сводную таблицу из раздела 4).

4. Результаты. Результаты заносим в сводную таблицу. В ней строки маркируют число кластеров, на которое производится разбиение данных (от 2 до 10), столбцы — процент, который составляет тестовая выборка по отношению ко всему объему данных (от 10% до 90%), а в ячейках записаны доли совпадающих позиций в матрицах принадлежности (от 0 до 1).

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
2	0.859840	0.844320	0.815484	0.936358	0.953220	0.951657	0.839860	0.837759	0.842712
3	0.795728	0.751194	0.744674	0.748383	0.733771	0.735981	0.759787	0.783928	0.798645
4	0.793488	0.840086	0.831213	0.842351	0.837070	0.834937	0.845538	0.827218	0.774618
5	0.776184	0.782860	0.797580	0.797555	0.788700	0.791756	0.796498	0.786003	0.771724
6	0.792400	0.793376	0.792574	0.796221	0.797449	0.796489	0.790270	0.785384	0.776353
7	0.802320	0.800858	0.806198	0.806133	0.807809	0.808718	0.804820	0.797427	0.790314
8	0.818112	0.820014	0.824181	0.822953	0.819598	0.819755	0.818252	0.815128	0.800384
9	0.833192	0.834782	0.833834	0.833841	0.836052	0.835969	0.833556	0.824912	0.812554
10	0.849568	0.844254	0.844197	0.845330	0.845724	0.843363	0.843469	0.838762	0.827731

4.1. По числу кластеров. Визуализация доли совпадений как функции от числа кластеров представлена на рис. 1. Это девять кривых, которые соответствуют девяти столбцам сводной таблицы. Каждая кривая получается при фиксированном значении объема тестовой выборки (от 10% до 90%).

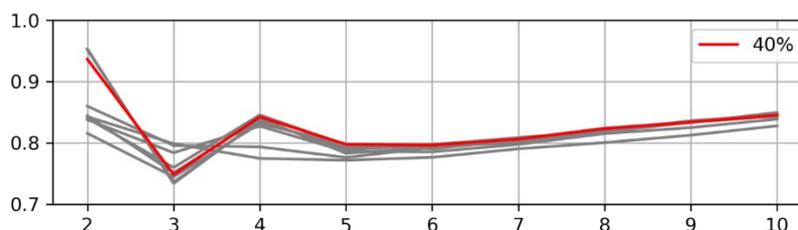


Рис. 1. Доля совпадений, соотношенная с числом кластеров

Однако сами по себе эти кривые мало что значат. Нам нужно представлять, какая из них соответствует наилучшим значениям метрики эффективности разбиения, а в силу того, что очевидного превосходства как-либо кривой из этого семейства по отношению к другим кривым этого семейства не наблюдается, делать какие-либо выводы на основании этой визуализации мы не можем.

Чтобы преодолеть это затруднение, мы вычисляем средние значения по всем числам кластеров, другими словами, усредняем строки сводной таблицы. Теперь, отталкиваясь от числовых значений, мы можем указать ту кривую, которая демонстрирует объективно более высокие усредненные показатели.

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
0.813426	0.812416	0.809993	0.825458	0.824377	0.824292	0.814672	0.810724	0.799448

Визуально это означает, что мы усредняем каждую кривую, для чего вычисляем среднее значение кривой на всем промежутке ее изменения и заменяем кривую горизонтальной прямой (см. рис. 2).

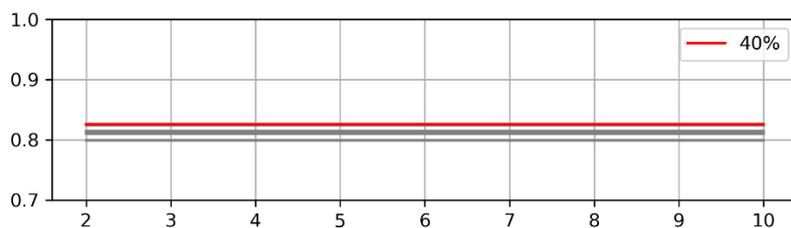


Рис. 2. Доля совпадений, усредненная по всем процентам тестовой выборки

Максимальное значение в усредненной таблице соответствует разбиению данных на тестовую и обучающую выборки в отношении 40% к 60% (где 40% — объем теста).

4.2. По объему теста. Визуализация доли совпадений как функции от объема тестовой выборки представлена на рис. 3. Здесь девять кривых соответствуют девяти строкам сводной таблицы, и каждая кривая описывает ситуацию при фиксированном числе кластеров, на которые производится разбиение данных (от 2 до 10).

Вычисляем средние доли совпадений по всем объемам тестовой выборки. Для этого усредняем столбцы сводной таблицы:

2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.875690	0.761343	0.825169	0.787651	0.791169	0.802733	0.817597	0.830966	0.842489

Визуально это означает, что каждая кривая становится горизонтальной прямой (см. рис. 4).

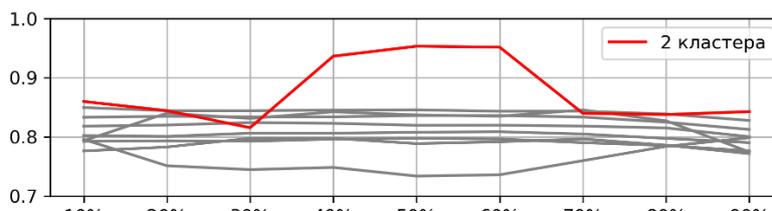


Рис. 3. Доля совпадений, соотношенная с процентом тестовой выборки

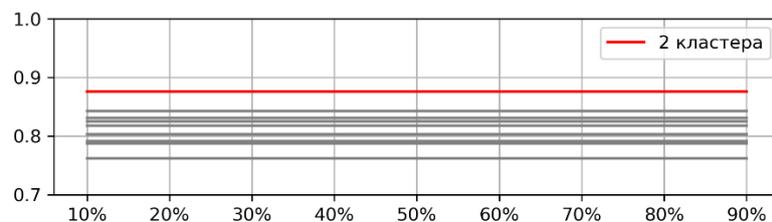


Рис. 4. Доля совпадений, усредненная по всем числам кластеров

Наиболее высокая прямая (или, что то же самое, максимальное значение в усредненной таблице) соответствует двум кластерам.

5. Выводы

Кластеризация данных используется в широком спектре задач и отраслей, включая маркетинг, медицину, обнаружение мошенничества и многие другие (см. [5]). Определение правильного числа кластеров помогает принимать правильные решения на основе кластерных анализов, такие как создание сегментов покупателей, выявление характерных поведенческих паттернов или предсказание рисков и мошеннических действий.

Число кластеров напрямую влияет на качество и интерпретируемость кластеризации. Неправильное определение числа кластеров может привести к объединению сильно различающихся групп в один кластер или к разделению однородной группы на несколько кластеров. Правильно определенное число кластеров помогает обнаружить скрытые шаблоны, взаимосвязи и сходства в данных [2, 5, 6]).

Определение числа кластеров является серьезной задачей, один из подходов к решению которой был продемонстрирован в этой статье. Применение нашего метода к реальным данным о потреблении контента потребителями одного из ведущих хостингов показало его работоспособность в условиях, когда какие-либо доводы со стороны экспертов предметной области отсутствуют, и решение о разбиении принимается формально, на основании числовых данных, но не их интерпретации.

Список литературы

1. Хейдт М. Изучаем Pandas. Москва: ДМК Пресс, 2018. 438 с.
2. Бурков А. Машинное обучение без лишних слов. СПб: Питер, 2020. 192 с.
3. Вьюгин В.В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М.: МЦИМО. 2013. 387 с.
4. Бринк Х., Ричардс Дж., Феверолф М. Машинное обучение. СПб.: Питер, 2017. 336 с.
5. Байков И.И., Семерова Е.А., Курмуков А.И. Метод ансамблирования алгоритмов кластеризации для решения задачи совместной кластеризации // Сенсорные системы. 2021. Т. 35. № 1. С. 43-49.
6. Паксашвили С.А. Тестирование алгоритма кластеризации k-means в решении задачи кластеризации финансовых операций // В сборнике: СНК-2022. Материалы LXXII открытой международной студенческой научной конференции Московского Политеха. Москва, 2022. С. 347-353.
7. Козловский В.Н. Потребительская ценность качества автомобилей / В.Н. Козловский, Г.Л. Юнак, Д.В. Айдаров, С.А. Шанин // Стандарты и качество. 2017. № 12. С. 76-80.

Мосин Владимир Геннадьевич, канд. физ.-мат. наук, vanbacha@yandex.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Козловский Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет

ANALYSIS OF ELECTRONIC CONTENT QUALITY. DIVISIONING DATA ABOUT CONTENT CONSUMPTION INTO THE OPTIMAL NUMBER OF CLUSTERS USING THE KMEANS ALGORITHM

V.G. Mosin, V.N. Kozlovsky

The article is devoted to the method of determining the optimal number of clusters for clustering K Means. A metric of partitioning efficiency is proposed, and the sequential steps of the algorithm for calculating it are outlined. Using the example of data on content consumption by users of one of the leading hosting companies, the consistency of the proposed method is shown.

Key words: content, quality assessment, data science, clustering, KMeans, scikit-learn, pandas, numpy.

Mosin Vladimir Gennadievich, candidate of physical and mathematical sciences, docent, yanchacha@yandex.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Kozlovsky Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, head of the department, Kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University

УДК 005.6

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-609-610

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ МЕТРИК КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ О ПОТРЕБЛЕНИИ КОНТЕНТА

В.Г. Мосин, В.Н. Козловский

В статье исследуются характеристики двух методов определения оптимального числа кластеров. Первый метод хорошо известен, он основан на индексе Рэнда и состоит в вычислении матриц принадлежности. Вторым методом предлагается впервые, он основан на вычислении дистанций между центроидами на обучающей и тестовой выборке.

Ключевые слова: контент, оценка качества, анализ данных, кластеризация, KMeans, агломеративная кластеризация, scikit-learn, AgglomerativeClustering, метод ближайших соседей, kNN, pandas, numpy.

1. Введение. Кластеризация данных — это процесс разделения набора данных на группы (кластеры) объектов, которые обладают схожими характеристиками или свойствами. Кластеризация позволяет выявить скрытые закономерности, структуры и отношения в данных, а также упростить их анализ и интерпретацию [5 – 7].

Хорошо известно, что определение оптимального числа кластеров является важнейшим этапом в процессе кластеризации, так как маленькое количество кластеров может недооценить сложность данных, в то время как слишком большое число кластеров может привести к переобучению [3].

1.1. Теоретическая часть. Для определения качества кластеризации используются так называемые метрики кластеризации.

1. Индекс силуэта (Silhouette Score). Измеряет, насколько каждый объект хорошо согласуется с кластером, к которому он был отнесен, и насколько отличается от соседних кластеров.

2. Индекс Дэвиса-Болдуэна (Davies-Bouldin Index). Используется для измерения среднего степени различия между кластерами. Чем меньше значение, тем лучше кластеризация.

3. Индекс Данна (Dunn Index). Измеряет отношение минимального интеркластерного расстояния к максимальному внутрикластерному расстоянию и помогает определить оптимальное количество кластеров.

4. Индекс Рэнда (Rand index). Используется для измерения согласованности между двумя различными присвоениями кластеров.

5. И другие.

Заметим, что среди известных методов оценки эффективности лишь индекс Рэнда апеллирует к разбиению данных для повторной кластеризации и сравнения результатов.

1.2. Постановка задачи. Мы предлагаем собственную метрику, для реализации которой, так же как и для метрик, основанных на вычислении индекса Рэнда, требуется разбиение данных на два блока и последующее сравнение результатов кластеризации.

1.2.1. Предмет исследования. Мы будем исследовать нашу метрику эффективности агломеративной кластеризации, основанную на вычислении средней дистанции между центроидами кластеров на обучающей и тестовой выборке (подробнее о нашем алгоритме см. ниже, п. 2.2).

1.2.2. Методика исследования. Результаты, полученные по авторской методике, мы будем сравнивать с результатами, которые получаются при применении известного и апробированного метода, основанного на индексе Рэнда. Высокая согласованность результатов будет говорить о состоятельности нашего метода.

1.2.3. Цель исследования. Наша цель — применить свою метрику кластеризации к реальным данным (мы будем использовать данные о потреблении контента) и сопоставить результаты, полученные по нашей авторской методике с результатами, получающимися при помощи одного из известных методов, основанного на вычислении индекса Рэнда.

1.3. Технологии. Мы работаем с данными в среде Jupyter Notebook, которая предоставляет удобные инструменты для работы с языком программирования Python и его основными библиотеками: numpy, pandas, sklearn и matplotlib.

Одной из лучших библиотек для вычислений и обработки массивов данных в Python является библиотека numpy. Одномерные и многомерные числовые массивы эффективно обрабатываются с помощью предлагаемых библиотекой структур данных, алгоритмов и функций [2, 3].

Библиотека, специально созданная для работы с данными — pandas. Она тесно интегрирована с другими инструментами для анализа и вычислений данных на платформе Python, такими как numpy, sklearn и matplotlib [1].

Для кластеризации и применения метода ближайших соседей мы применяем библиотеку scikit-learn, которая также известна под именем sklearn. Библиотека sklearn является мощной и гибкой библиотекой машинного обучения, что делает ее отличным средством для реализации самых разнообразных моделей [3, 4].

2. Описание метрик. Мы будем сравнивать две метрики:

1. метрику, основанную на вычислении двух матриц принадлежности, которая была предложена в [2],

2. и нашу собственную метрику, основанную на вычислении расстояний между центроидами кластеров.

В данном разделе мы дадим краткое изложение идей, на которых основаны эти метрики.

2.1. Метрика матриц принадлежности. По сути, метрика, предложенная в [2], является одним из вариантов индекса Рэнда, хотя и с небольшими вариациями. Идея состоит в том, что данные разбиваются на обучающую и тестовую составляющие, после чего выполняются следующие действия.

1. Кластеризация обучается на обучающих данных и применяется к тестовым данным, в результате чего все объекты тестовых данных получают свои метки кластеров.
2. Вычисляется первая матрица принадлежности. Это квадратная матрица, порядок которой равен объему тестовой выборки, а компонентами служат 0, если два объекта тестовой выборки принадлежат разным кластерам, и 1, если они принадлежат одному кластеру.
3. Кластеризация обучается на тестовых данных и применяется к тестовым данным, в результате чего все объекты тестовых данных снова получают свои метки кластеров.
4. Вычисляется вторая матрица принадлежности по тому же принципу, что и первая.
5. Вычисляется разность двух матриц принадлежности. Она обладает нулевыми значениями везде, где матрицы принадлежности демонстрируют одно и то же значение, и ненулевыми там, где эти значения разные.
6. Вычисляется доля несовпадений. Чем ближе эта доля к 0, тем более качественной является кластеризация.

2.2. Метрика дистанций между центроидами. Мы предлагаем другой подход к оценке качества кластеризации. Так же, как и при вычислении индекса Рэнда, данные разбиваются на обучающую и тестовую выборки, после чего выполняются следующие действия.

1. Кластеризация обучается на обучающей выборке и применяется к обучающей выборке. В результате каждый объект обучающей выборки получает свою метку кластера.
2. Вычисляются центроиды кластеров на обучающей выборке.
3. Кластеризация обучается на тестовой выборке и применяется к тестовой выборке. В результате каждый объект тестовой выборки получает свою метку кластера.
4. Вычисляются центроиды кластеров на тестовой выборке.
5. Каждому центроиду из обучающей выборки подбирается пара их числа центроидов тестовой выборки по следующему принципу:
 - a. первая пара имеет наименьшую дистанцию из всех возможных,
 - b. вторая пара имеет наименьшую дистанцию из всех возможных при условии, что первая пара уже не учитывается,
 - c. третья пара имеет наименьшую дистанцию из всех возможных при условии, что первые две пары уже не учитываются
 - d. и так далее.
6. Вычисляется средняя дистанция между центроидами. Это и есть наша метрика. Чем ближе средняя дистанция к 0, тем более качественной является кластеризация.

3. Описание и предварительная подготовка данных. Данные, которые мы используем для кластеризации, представляют собой записи о 500 датах, начиная с 2021-08-20 и заканчивая 2023-01-01, о потреблении контента пользователями одного из ведущих хостингов. В каждую из этих дата были зафиксированы показатели потребления контента, такие, как 'Просмотры', 'Время просмотра (часы)', 'Поделились' и т. д. всего 18 признаков. Подробная структура данных описана ниже в п. 3.2.

3.1. Чтение данных. Мы читаем данные из файла *.csv при помощи метода read_scv библиотеки pandas. Результат записываем в переменную df, это датафрейм следующего вида:

Дата	Просмотры	Время просмотра (часы)	Поделились	...	Дизлайки	Лайки
2023-01-01	475.0	21.2038	9.0	...	0.0	16.0
2022-12-31	174.0	5.4814	1.0	...	0.0	4.0
2022-12-30	490.0	17.8182	3.0	...	1.0	3.0
...
2021-08-22	275.0	10.4130	1.0	...	0.0	2.0
2021-08-21	222.0	10.5967	0.0	...	2.0	4.0
2021-08-20	209.0	8.6935	0.0	...	0.0	1.0

3.2. Разведочный анализ. Для получения подробных сведений о данных применяем метод info библиотеки pandas:

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	Просмотры	500 non-null	float64
1	Время просмотра (часы)	500 non-null	float64
2	Поделились	500 non-null	float64
3	Постоянные зрители	500 non-null	float64
4	Новые комментарии	500 non-null	float64
5	Отказались от подписки	500 non-null	float64
6	Новые подписчики	500 non-null	float64
7	Новые зрители	500 non-null	float64
8	Среднее число просмотров одним пользователем	500 non-null	float64
9	Уникальные зрители	500 non-null	float64
10	CTR для значков видео (%)	500 non-null	float64
11	Показы	500 non-null	float64
12	Подписчики	500 non-null	float64
13	Средний процент просмотра (%)	500 non-null	float64
14	Процент лайков	500 non-null	float64
15	Средняя продолжительность просмотра	500 non-null	float64
16	Дизлайки	500 non-null	float64
17	Лайки	500 non-null	float64

Видим, что данные содержат 500 объектов, описанных при помощи 18 признаков, все признаки относятся к типу с плавающей запятой, пропущенных данных нет.

3.3. Нормализация данных. Более подробный анализ проводим при помощи метода describe библиотеки pandas. Он дает представление о распределениях признаков, в частности — об их средних значениях:

	min	mean	max	std
Время просмотра (часы)	5.48	37.17	96.72	16.64
Поделились	0.00	6.96	71.00	6.25
Постоянные зрители	30.00	163.34	463.00	78.90
Новые комментарии	0.00	0.53	6.00	0.83
Отказались от подписки	0.00	2.77	29.00	2.55
Новые подписчики	0.00	6.49	19.00	3.51
Новые зрители	60.00	366.83	735.00	174.01
Среднее число просмотров одним пользователем	1.31	1.79	2.85	0.21
Уникальные зрители	96.00	530.18	1103.00	239.22
CTR для значков видео (%)	1.25	5.54	8.52	1.11
Показы	1938.00	8093.78	39479.00	3816.08
Подписчики	-23.00	3.72	15.00	4.02
Средний процент просмотра (%)	18.68	26.72	41.29	3.41
Процент лайков	0.00	92.02	100.00	10.31
Средняя продолжительность просмотра	96.07	144.33	211.02	15.66
Дизлайки	0.00	1.28	10.00	1.34
Лайки	-6.00	15.80	70.00	9.13

Видим, что значения некоторых признаков отличаются на порядки, что неизбежно приведет к искажению результатов. Поэтому мы выполняем стандартную нормализацию (называемую также стандартизацией) данных:

$$df = (df - df.mean())/df.std()$$

где метод mean возвращает средние значения признаков, а метод std — их средние квадратичные отклонения. После нормализации все признаки имеют нулевые средние значения и единичные дисперсии. Теперь метод describe показывает:

	min	mean	max	std
Время просмотра (часы)	-1.90	0.00	3.57	1.00
Поделились	-1.11	0.00	10.23	1.00
Постоянные зрители	-1.69	0.00	3.79	1.00
Новые комментарии	-0.64	0.00	6.57	1.00
Отказались от подписки	-1.08	0.00	10.27	1.00
Новые подписчики	-1.84	0.00	3.55	1.00
Новые зрители	-1.76	0.00	2.11	1.00
Среднее число просмотров одним пользователем	-2.23	0.00	4.92	1.00
Уникальные зрители	-1.81	0.00	2.39	1.00
CTR для значков видео (%)	-3.84	0.00	2.67	1.00
Показы	-1.61	0.00	8.22	1.00
Подписчики	-6.63	0.00	2.80	1.00
Средний процент просмотра (%)	-2.35	0.00	4.26	1.00
Процент лайков	-8.92	0.00	0.77	1.00
Средняя продолжительность просмотра	-3.08	0.00	4.25	1.00
Дизлайки	-0.95	0.00	6.49	1.00
Лайки	-2.38	0.00	5.93	1.00

Тем самым, дисбаланс в значениях признаков ликвидирован.

4. Результаты. В наших исследованиях обеих метрик варьируются два параметра: 1) количество кластеров, 2) объем тестовой выборки (процент от объема полных данных). Соответственно, результаты образуют таблицы с двумя входами, в которых строки маркируют число кластеров (в наших экспериментах это число менялось от 2 до 10), а столбцы — процент тестовой выборки (процент менялся от 10% до 90%).

4.1. Метрика матриц принадлежности. Напомним, что эта метрика, предложенная в [2], равна доле несовпадений в матрицах принадлежности, вычисленных на обучающей и тестовой выборке. Это величина лежит в пределах от 0 до 1, и чем ближе она к 0, тем более качественной является кластеризация.

Результаты, которые в ходе вычислений продемонстрировала метрика матриц принадлежности, таковы:

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
2	0.127272	0.177920	0.173419	0.055838	0.037365	0.046611	0.167219	0.139077	0.125369
3	0.225936	0.230618	0.253282	0.264170	0.266239	0.265434	0.241874	0.231726	0.231631
4	0.210768	0.168450	0.169945	0.161031	0.151277	0.168187	0.176617	0.170586	0.215058

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
5	0.209080	0.210542	0.212374	0.196456	0.201250	0.202999	0.200213	0.209339	0.230890
6	0.211328	0.212104	0.204552	0.200216	0.197215	0.203769	0.206299	0.212965	0.222296
7	0.195584	0.194290	0.191547	0.187928	0.193109	0.187174	0.194507	0.201525	0.216564
8	0.178928	0.177836	0.173201	0.173220	0.177965	0.175215	0.183199	0.187905	0.196826
9	0.163688	0.166084	0.165627	0.167279	0.164978	0.169143	0.170601	0.171284	0.186256
10	0.155136	0.154550	0.153262	0.152102	0.155335	0.156568	0.156948	0.160077	0.174340

4.1.1. Анализ по числу кластеров. Визуализируя столбцы сводной таблицы результатов, получаем серию кривых, каждая из которых соответствует тому или иному разбиению данных на обучающую и тестовую выборку (см. рис. 1).

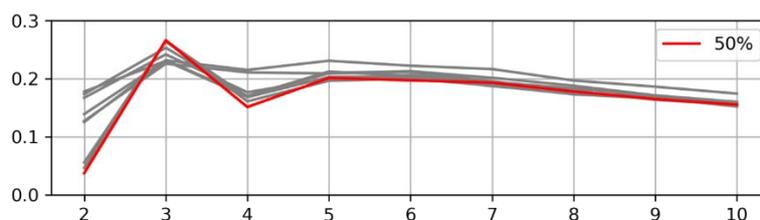


Рис. 1. Доля несовпадений, соотношенная с числом кластеров

Среди кривых нет ярко выраженной нижней кривой, которая давала бы визуальное представление о наилучшем процентном соотношении обучающей и тестовой выборки. Поэтому мы производим усреднение сводной таблицы по столбцам:

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	0.186413	0.188044	0.188579	0.173138	0.171637	0.175011	0.188608	0.187165	0.199914

Теперь понятно, что наименьшее значение метрики матриц принадлежности приходится на 50% разбиение данных. Визуально такое усреднение означает спрямление кривых (см. рис. 1) к горизонтальным линиям на уровне их средних значений (см. рис. 2).

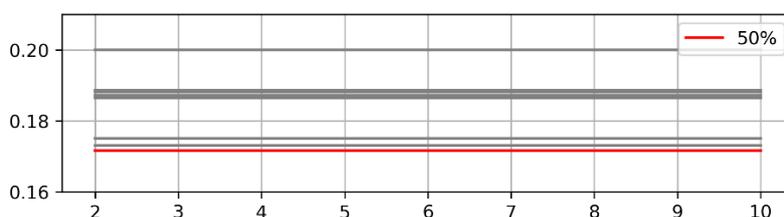


Рис. 2. Доля несовпадений, усредненная по всем процентам тестовой выборки

4.1.2. Анализ по объему тестовой выборки. Визуализируя строки сводной таблицы, получаем серию кривых, соответствующих тому или иному числу кластеров (см. рис. 3).

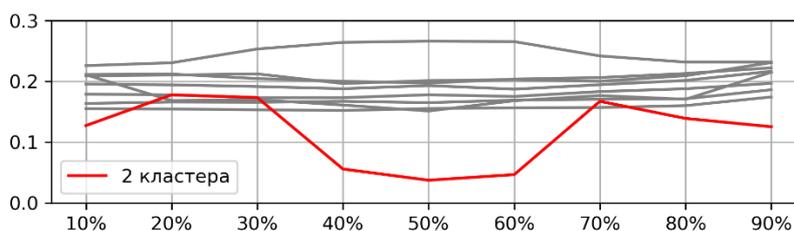


Рис. 3. Доля несовпадений, соотношенная с процентом тестовой выборки

Очевидно, что наилучшие значения метрики приходятся на кривую, отвечающую разбиению на 2 кластера. Тем не менее, мы, так же как и выше, проиллюстрируем этот факт усреднением значений сводной таблицы. Теперь мы производим усреднение по строкам:

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0.116677	0.245657	0.176880	0.208127	0.207861	0.195803	0.180477	0.169438	0.157591

Действительно, наилучшее значение метрики приходится на 2 кластера. Визуально это усреднение означает замену кривых (см. рис. 3) на горизонтальные линии (см. рис. 4).

4.2. Метрика дистанций между центроидами. Для чистоты экспериментов при применении нашей методики мы использовали алгоритм кластеризации, отличный от того, каким были получены результаты предыдущего пункта. Выше, для метрики матриц принадлежности, мы применяли алгоритм KMeans. Теперь, для метрики дистанций между центроидами, мы применяем агломеративную кластеризацию.

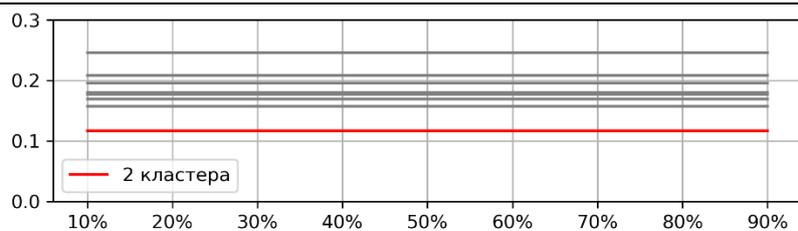


Рис. 4. Доля несовпадений, усредненная по всем кластерам

Напомним, что метрика, предлагаемая нами, равна среднему расстоянию между центроидами кластеров, полученных на обучающей и тестовой выборке. Она лежит в пределах от 0 до бесконечности, и кластеризация тем лучше, чем ближе эта метрика к 0.

Значения метрики дистанций, полученные в ходе экспериментов, таковы:

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
2	3.870752	4.662957	5.655946	1.783088	0.786986	1.905101	4.509609	3.833707	2.357719
3	10.51072	10.38553	10.49342	10.60607	10.70236	10.64398	10.38718	10.48912	10.44261
4	8.521399	7.830299	7.773601	7.813191	7.424557	7.878854	7.577976	7.945945	8.663335
5	8.309321	8.192782	7.873138	7.936398	7.924422	8.060763	7.792261	8.336158	8.368217
6	8.310196	7.937754	7.408497	7.285618	7.340343	7.349813	7.488590	7.573855	8.322490
7	7.455373	6.789084	6.811973	6.846783	6.992607	6.721188	7.043173	7.035429	7.735061
8	6.985541	6.587748	6.329445	6.374098	6.315456	6.404256	6.438442	6.509589	6.930368
9	6.484173	6.218447	6.212675	6.105153	6.050509	6.215081	6.029099	6.154983	6.513094
10	6.106602	5.924564	5.780431	5.857069	5.820953	5.897839	5.835465	5.925273	6.189668

4.2.1. Анализ по числу кластеров. Визуализируя столбцы сводной таблицы результатов, получаем серию кривых, каждая из которых соответствует тому или иному разбиению данных на обучающую и тестовую выборку (см. рис. 5).

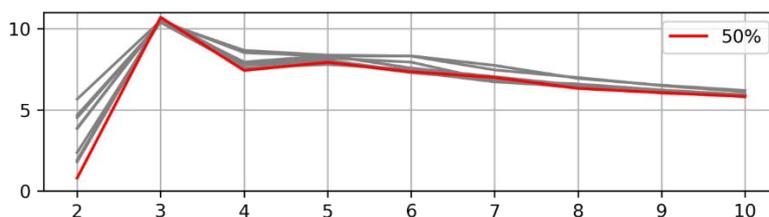


Рис. 5. Дистанция между центроидами, соотношенная с числом кластеров

Усредняем кривые дистанций. Для этого проводим усреднение по столбцам сводной таблицы:

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
7.394898	7.169908	7.148793	6.734163	6.595355	6.786320	7.011312	7.089340	7.280285

После усреднения кривые (см. рис. 5) становятся горизонтальными линиями (см. рис. 6), и низшая линия соответствует проценту тестовой выборки с наилучшим значением метрики.

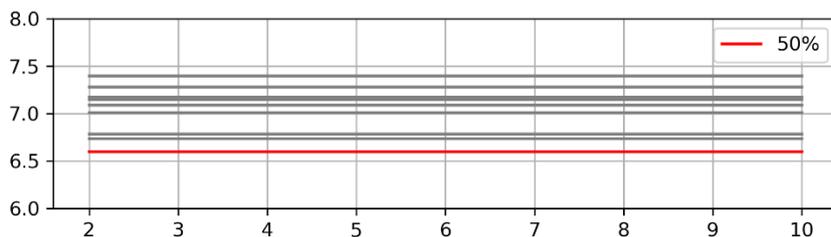


Рис. 6. Дистанция между центроидами, усредненная по всем процентам тестовой выборки

Видим, что наименьшее отклонение центроидов происходит при разбиении данных на обучающую и тестовую выборки в пропорции 50%:50%.

4.2.2. Анализ по объему тестовой выборки. Аналогично, визуализируя строки сводной таблицы, получаем серию кривых, соответствующих тому или иному числу кластеров (см. рис 7).

Есть ярко выраженная кривая, демонстрирующая, что наилучшее значение метрики достигается при разбиении данных на 2 кластера. Для того чтобы представить это преимущество численно, усредняем значения сводной таблицы по строкам:

2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.262874	10.517893	7.936573	8.088162	7.668573	7.047852	6.541660	6.220357	5.926429

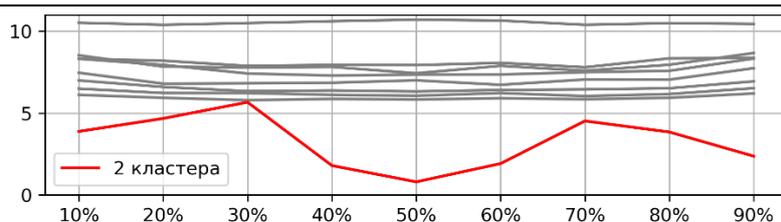


Рис. 7. Дистанция между центроидами, соотношенная с процентом тестовой выборки

Получаем серию горизонтальных линий, низшая линия соответствует числу кластеров с наилучшим значением нашей метрики.

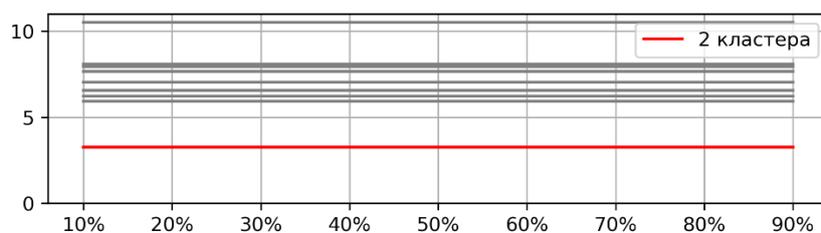


Рис. 8. Дистанция между центроидами, усредненная по всем кластерам

5. Выводы.

5.1. Согласованность результатов. Прежде всего, следует отметить полную согласованность результатов, полученных по методике дистанции между центроидами, с результатами полученными в метрике матриц принадлежности. Разумеется, речь не идет о буквальном совпадении (или близости) значений этих метрик. Метрика, основанная на индексе Рэнда, лежит в пределах от 0 до 1, а наша авторская метрика — в пределах от 0 до бесконечности, и совпадения быть не может. Но характер поведения кривых этих двух метрик полностью совпадают (см. рис. 1 и 5, а также рис. 3 и 6). Совпадают и основные выводы: наилучшее число кластеров равно 2, оптимальное соотношение выборок 50%:50%.

Более того, совпадают второстепенные выводы, к которым мы даже не стремились. Например, тот факт, что наихудшее число кластеров равно 3 (для обеих метрик). Или что разбиение на 4 кластера лучше, чем разбиение на 3 кластера, но хуже, чем разбиение на 2 кластера (что также демонстрируют обе метрики) и т. д.

В силу того, что индекс Рэнда является известным и хорошо зарекомендовавшим себя методом оценки качества кластеризации, наше исследование показало состоятельность авторской метрики для оценки эффективности разбиения данных на кластеры.

5.2. Область применения. Отметим также, что вновь предложенная авторская метрика обладает большее широкой областью применения: ее можно применять как к алгоритму KMeans, так и к результатам агломеративной кластеризации, в тот момент, как метрика, основанная на индексе Рэнда применима только к кластеризации KMeans.

Однако ни методы, основанные на индексе Рэнда, ни вновь предложенная метрика дистанции между центроидами неприменимы к кластеризации по алгоритму DBSCAN. Причина проста — DBSCAN сам решает, сколько кластеров получится на выходе из алгоритма. При повторном запуске он вполне может выдать (и, скорее всего, выдает) новое число кластеров, отличное от предыдущего. Поэтому ни матрицы принадлежности, ни пары центроидов построить в любом случае не удастся, и для алгоритма DBSCAN требуются другие метрики эффективности.

Список литературы

1. Хейдт М. Изучаем Pandas. Москва: ДМК Пресс, 2018. 438 с.
2. Бурков А. Машинное обучение без лишних слов. СПб: Питер, 2020. 192 с.
3. Вьюгин В.В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М.: МЦИМО. 2013. 387 с.
4. Бринк Х., Ричардс Дж., Феверолф М. Машинное обучение. СПб.: Питер, 2017. 336 с.
5. Байков И.И., Семерова Е.А., Курмуков А.И. Метод ансамблирования алгоритмов кластеризации для решения задачи совместной кластеризации // Сенсорные системы. 2021. Т. 35. № 1. С. 43-49.
6. Паксашвили С.А. Тестирования алгоритма кластеризации k-means в решении задачи кластеризации финансовых операций // В сборнике: СНК-2022. Материалы LXXII открытой международной студенческой научной конференции Московского Политеха. Москва, 2022. С. 347-353.
7. Козловский, В.Н. Потребительская ценность качества автомобилей / В.Н. Козловский, Г.Л. Юнак, Д.В. Айдаров, С.А. Шанин // Стандарты и качество. 2017. № 12. С. 76-80.

Мосин Владимир Геннадьевич, канд. физ.-мат. наук, yanbacha@yandex.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Козловский Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет

COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO METRICS OF THE CLUSTERING OF CONTENT CONSUMPTION DATA

V.G. Mosin, V.N. Kozlovsky

The article examines the characteristics of two methods for determining the optimal number of clusters. The first method is well known; it is based on the Rand index and consists in calculating membership matrices. The second method is proposed for the first time, it is based on calculating the distances between centroids on a training and test sample.

Key words: content, quality assessment, data science, clustering, KMeans, agglomerative clustering, scikit-learn, nearest neighbor method, kNN, pandas, numpy.

Mosin Vladimir Gennadievich, candidate of physical and mathematical sciences, docent, yanbacha@yandex.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Kozlovsky Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, head of the department, Kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University

УДК 004.413

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-615-616

ПЕРВИЧНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОСТРЕБОВАННОГО ПОТРЕБИТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ ПРИ ВЫХОДЕ КОМПАНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ НА НОВЫЕ КОНКУРЕНТНЫЕ РЫНКИ

А.С. Клентак, В.Н. Козловский, А.В. Гусев

В работе представлены первичные результаты разработки методологии, на основе использования которой машиностроительная компания может спрогнозировать востребованную у потребителей оценку качества продукции, при выходе на новые конкурентные рынки.

Ключевые слова: конкурентоспособность, машиностроение, автомобилестроение, качество, прогнозирование.

Выход машиностроительной компании на новые конкурентные рынки должен сопровождаться серьезными аналитическими исследованиями в области оценки востребованного качества продукции со стороны потенциальных потребителей. С этой целью требуется разработка и реализация методологии прогнозирования востребованного потребителями качества продукции машиностроения при выходе компании производителя на новые конкурентные рынки

Для достижения цели связанной с определением прогнозной оценки требуемого потребителю качества продукции требуется решение следующих задач [1 – 3]:

1. выделение социокультурных доминант исследуемой территории и определение закономерностей их соответствия тенденциям и потребительским стандартам;
2. определение рациональных и символических способов повышения заинтересованности в наличии автомобиля с вскрытием закономерностей, мотивации и ожидания потенциальных потребителей;
3. дать оценку динамики автомобильного рынка (сегменты, емкость, производители) с определением его основных двигателей, а также с разработкой стратегии дальнейшего развития рынка;
4. определение типа потенциальных потребителей на автомобильном рынке, исходя из их психосоциального профиля.

Далее в работе, рассмотрим некоторые из первичных аспектов предлагаемых в рамках разрабатываемой методологии на примере выхода на компании – производителя на новый конкурентный автомобильный рынок [4].

Для решения задачи выделения социокультурных доминант исследуемой территории и определения закономерности их соответствия тенденциям и потребительским стандартам требуется оценить экономическую ситуацию внутри рассматриваемой территории, описать социальную структуру общества, рассмотреть механизмы стимулирования спроса и в заключение на основании этих данных описать социокультурные аспекты общества: его профиль, структурные детерминанты и факторы его стратификации [5].

Согласно анализу российского общества отечественный автомобильный рынок представляется сложной структурой. В области автомобильного спроса определяющим фактором является уровень дохода на той или иной территории, вследствие чего, в автомобильной рынок делится фактически на два крупных сегмента – это автомобильный рынок «Больших городов» и «Провинция» [6, 7].

Большие города. В данной категории можно выделить следующие детерминанты:

- высокий уровень обеспеченности;
- открытость к западным товарам и стилю образа жизни;
- большее внедрение иностранных автомобильных марок;
- большее разнообразие моделей (марки, модели).

Провинция. В данной категории можно выделить следующие детерминанты:

- более низкий уровень жизни и образования;
- меньшее проникновение товаров иностранного производства (в том числе автомобилей);
- меньшее влияние новых тенденций;
- большая дефектность дорог;
- большее влияние природных факторов и традиционных способов проведения свободного времени на

природе (охота, рыболовная ловля).

Кроме того, можно выделить также яркие отличия рынка по направлениям западной и восточной территории. На восточной территории прослеживается ввоз большого количества поддержанных японских автомобилей (85% автомобилей на Дальнем Востоке имеют расположение руля справа, по сравнению с 8-9% в среднем по стране).

Кроме вышеописанных направлений также есть ряд территорий с «местными особенностями». Данные территории представляют собой совокупность частных случаев на уровне города или отдельных регионов.

Формирование понимания отношения к автомобилю происходит на фундаменте анализа социокультурных аспектов, в виде сформированного профиля общества с его структурными детерминантами и факторами стратификации (аспекты его возможной трансформации изнутри).

Отношению к автомобилю трансформируется с течением времени и изменением внешних обстоятельств (рисунок 1).



Рис. 1. Структурные детерминанты и факторы стратификации

Далее рассматривается, какое влияние на отношение к автомобилю оказывает каждая структурная детерминанта и/или фактор стратификации.

Дифференциация по половому признаку. В данном случае разбирается влияние структурной детерминанты «Консерватизм» и его подфактора «Дифференциация по половому признаку».

Влияние традиций на отношение к автомобилю всегда ощутимы, но стереотипы в отношении к автомобилю (с обеих сторон) у мужчин и женщин остаются основным фактором различия в данном вопросе.

Женщины, согласно опросам, уделяют большее внимание дизайну, типу, и относительно подходящей цене. Женщины предпочитают плавность линий, компактность, практичность, роскошный дизайн и оснащение. Приоритет внешним характеристикам свойственен в первую очередь женскому выбору.

За последние 5 лет большую часть выданных водительских прав получают женщины», однако это не говорит на прямую именно о доли рынка.

На уровне рынка, роль женщины ощутима: значительная доля докризисного роста приходится на факт доступа женщины к владению автомобилем. На 2020 год доля женщин за рулем колеблется около 20%.

В основном среди женщин-водителей автомобиля можно выделить две группы:

- молодые служащие/ управляющие;
- женщины среднего возраста/ домохозяйки, с целью благоустройства быта.

В обоих случаях автомобиль решает тройную задачу:

- функциональную: добраться до места работы, ежедневные нужды семьи (дети, покупки);
- правонаделительную: автомобиль как средство независимости, шаг к личной свободе (от мужчин в общем смысле и супруга, в частности).
- функцию поддержания статуса: как и у мужчин, когда речь идет о демонстрации статуса (собственного, или чаще всего своей семьи, и в редких случаях статус супруга).

Мужчины в свою очередь предпочитают размер, мощность, солидность, выражение состоятельности в социальном и семейном плане. В более глобальном плане, у мужчин прослеживается приоритетность, в отношении внешнего вида автомобиля, говорящая о превосходстве функциональных качеств над внешней формой. «Настоящая мужественность» «предполагает» задумываться в основном о функциональности и технических характеристиках.

Семья. В данном случае разбирается влияние структурной детерминанты «Консерватизм» и его подфактора «Семья».

Значение семьи (и наличие друзей, как членов семьи) в нашей стране проявляется в форме оказания взаимопомощи, которая возникает в момент планирования бюджета, позволяющего приобрести автомобиль:

- непосредственная помощь родителей (в дар, совместное финансирование);
- займы у друзей/ коллег.

Для периферии среднего класса, автомобиль часто является общественным приобретением.

Ностальгия. Патриотизм. В данном случае разбирается влияние структурной детерминанты «Консерватизм» и его подфакторов «Ностальгия и Патриотизм».

Влияние «прошлого» на владение автомобилем основывается в основном на том, что на территории нашей страны долгое время было единственной возможностью иметь автомобиль – это иметь автомобиль марки местного производителя. Отсюда есть фактически два направления:

- персональный опыт, основывающийся на успешном использовании автомобиля Лада, Москвич и т.д. (для людей старше 55 лет);
- персональный опыт, основывающийся на позитивном или негативном опыте использования автомобиля, в последствии приведший к отказу от автомобиля.

Владение автомобилем, как главным статусным маркером подвергается непосредственному влиянию процессов медленной социальной стабилизации, а именно «Уточнение вкусов потребителя», которое проявляется в увеличении объемов предложений автомобилей и в стремлении к выделению из общей массы: показатели статуса

развиваются и становятся все более разнообразными, теперь статус выражается не только габаритами автомобиля; появился целый ряд возможностей выражения индивидуальности и выделения из массы на одном статусном уровне (эквивалентное потребление); модели снабжаются воображаемыми отличительными особенностями, мотивирующими покупателя и свидетельствующими о его индивидуальных качествах (модели hatch, SUV, даже MPV); символическая или статусная функция автомобиля ограничивается его функциональностью и физическими потребностями.

Долгое время сдерживаемая плохим состоянием дорог и невозможностью автомобилей этому противостоять (недостаточный уровень надежности и комфорта) начинает появляться тенденция требования функциональности автомобиля в категории «отдых»: желание сохранить комфортность во время передвижения в отпуск или на выходные.

На дороге появляется тенденция соблюдения правил дорожного движения: тенденции более спокойного вождения (спокойствие, четкое соблюдение правил, вежливость, уважение к другим водителям); потенциальная связь машины с процессом вождения: апеллинг (особенно у моделей SUV) подразумевает более внимательное поведение на дороге (защита автомобиля, стремление к правильному типу вождения).

Тем не менее, новые тенденции поддерживаются не всеми водителями, во многом по результатам опросов, поддерживается в местах установки камер, фиксирующих нарушения правил дорожного движения: дорога все еще остается местом конкуренции (автомобилей, автомобилистов и пешеходов).

После проведенного анализа ключевых социокультурных детерминант необходимо оценить объективные факторы построения ожиданий, такие как погодные условия, как фактор риска, и степень развитости дорожной инфраструктуры.

Погодные условия, как фактор риска и дискомфорта. Условия дорожного движения на территории нашей страны сопряжены с резкими перепадами температур (лето/зима), некоторыми погодными явлениями при низких температурах (снег, гололед, дождь и т.д.) из чего следует ряд факторов риска при вождении: риск механических и электронных поломок (поломка, преждевременный износ, недостаточная оснащенность); риск, связанный с безопасностью (потеря управления автомобилем); слабая мотивация к долгим поездкам (которые в зимнее время могут нанести ущерб здоровью и жизни), из чего вытекает отсутствие положительного образа дороги.

Критерии оценки автомобиля складываются из его общей стоимости, надежности, безопасности, комфорта, многофункциональности, дизайн и марки выбираемого автомобиля. Первым критерием, по которому оценивают автомобиль является его общая стоимость.

На примере можно выделить основные принципы покупки автомобиля: учитывая финансовые и символические затраты в процессе покупки автомобиля, объем информации для осуществления выбора крайне важен. В большинстве это касается мужчин: приоритет функциональности и технических характеристик. Женщины составляют меньший процент: частота покупок, обусловленная «мгновенной симпатией» к внешнему виду автомобиля, влияние мнения мужа (изучение технических характеристик).

Желаемые модели обычно уже хорошо изучены, особенно это касается места производства и уровня надежности;

Многочисленные источники информации (интернет, дилеры, масс-медиа, семья и друзья) действующими в равной степени;

В стране, где господствует групповой конформизм, признание популярности марки или самого автомобиля — это очень мощный фактор влияния на выбор человека.

Кроме того, становится нормой обращать внимание на стоимость эксплуатации автомобиля. Здесь также есть широкий перечень критериев: покупная цена автомобиля; эксплуатационные расходы (стоимость отдельных деталей, стоимость прохождения технического обслуживания); расход горючесмазочных материалов; налоги на автомобиль (зависит от мощности лошадиных сил); оперативность перепродажи (легкость сбыта и цена перепродажи); стоимость кредита (в рамках кредита, предоставляемого дилером); качество гарантийных услуг (обслуживание, прием, гарантия) в перспективе дальнейшего технического обслуживания.

Критерий расхода горючесмазочных материалов обычно принимается во внимание в процессе покупки, и в период использования: учет реального расхода (и его сопоставление с расходом, указанным производителем); учет бюджета на расход топлива за неделю, или за длительную поездку.

Однако, здесь есть ряд технических характеристик, оказывающих принципиальное влияние на количество потребляемых горючесмазочных материалов: от рабочего объема цилиндров (в большинстве случаев) и в остальных от мощности двигателя (л.с.); манеры вождения (агрессивная и быстрая, или экономичная); использования кондиционера.

В свою очередь рабочий объем цилиндров зависит от категории автомобиля: от 5 до 6 литров/100 км в автомобилях категории А-В; от 10 до 12 литров/100 км в моделях hatch или sedan категории В-С; 15 литров/ 100 км в моделях SUV.

Есть также ряд дополнительных детерминант выбора: при отсутствии на рассматриваемой территории верности определенным маркам, обнаруживается чувствительность потребителей к рекламным акциям (иногда делая скидку на мощность и разновидность двигателя, уровень современности или цвет автомобиля); конкуренция среди дилеров одной марки. Потребители с одной территории могут приехать покупать автомобиль на другую территорию, чтобы сделать это как можно выгодней; государственная программы помощи местной автомобильной промышленности, позволяющая брать кредит с минимальной процентной; на экономически нестабильных территориях возможность покупки в кредит, как один из решающих факторов выбора, в следствии страх внезапного повышения цены, сбоев в поставках, долгого срока ожидания (превышающий несколько недель); выбор «нового автомобиля» или «автомобиля бывшего в эксплуатации» [8, 9]

Надежность автомобиля. Можно выделить основные критерии оценки потребительской надежности автомобиля: в основном, во всех целевых группах (даже в категории женщин), места сборки всегда известны и принимаются во внимание, даже тщательно изучаются; негласная иерархия стран-производителей. Производство автомобиля в стране происхождения марки считается залогом подлинности и гарантией качества; местная сборка до сих пор воспринимается с большим недоверием: общий низкий уровень качества (металла, используемых материалов, пластика), низкий уровень надежности (механических деталей), низкая квалификация рабочих, воспоминания о русской устаревшей и изношенной производственной базе.

Однако, в последнее время формируется новый тренд, в котором местная сборка таит в себе потенциал фактора уверенности и убеждения, так как сама марка производителя становится залогом аутентичности сборки: имидж производителя и понятие о качестве сборки неразрывно связаны; чем более знаменита своим качеством марка (немецкие, японские), тем лучше воспринимается факт российской сборки.

При выборе модели, категория страны сборки равнозначна категории цены: финансовая рациональность уступает место символичности автомобиля, покупка более дешевого автомобиля оправдывается и объясняется (относительно низкой стоимостью рабочей силы, отсутствие налогов на экспорт).

Однако, несмотря на это, если местная сборка автомобилей класса А и В может положительно восприниматься потребителями, прослеживается негативное отношение к ней в имиджевых моделях (Toyota Camry, VW Passat), к которым эмоциональная привязанность покупателя играет ведущую роль.

В меньшинстве случаев, различие между «100% национальным предприятием» и российско-иностранными совместными предприятиями проявляется в ущерб последним: если производитель является владельцем завода, он имеет право устанавливать там свои правила, внедрять свои методы работы и свое оборудование; совместное предприятие усиливает опасения по отношению к русскому производству (иностранный производитель не диктует условия, а должен согласовывать их с условиями функционирования российского предприятия).

Безопасность автомобиля. Безопасность автомобиля можно рассмотреть с двух сторон – это потребительская безопасность автомобиля и его техническая безопасность.

Потребительская безопасность автомобиля: большие габариты автомобиля, свидетельствующие о его силе, мощности, надежности: «Машина-крепость» (SUV, Jeep, в некоторых категориях даже sedan) или агрессивность, уверенность, угроза (авто hatch «быстрый» категории В-С): «машина-кокон» (анализ мнений женщин в большинстве); высокое положение водителя, позволяющее больший обзор дороги (психологическое преимущество возможного ухода назад в непредвиденной ситуации, продуманной защиты и отдаления опасности); толщина металла; объем багажника: расстояние между задним отделением (багажник) и передними сиденьями.

Техническая безопасность: количество подушек безопасности; мощность двигателя в контексте скорости (легко обгонять, быстро выезжать из ряда); наличие полного привода.

Комфорт автомобиля. Можно выделить основные требования покупателей к уровню комфорта автомобиля: заторы на дорогах (маленькие масштабы дорожных сетей), провоцирующие увеличение времени, проведенного в пути (чтобы доехать на работу, семейные дела и отдых); плохое состояние дорог (низкое качество дорожного покрытия), что усугубляется погодными условиями; уменьшение значения дома (вынужденное или добровольное), ведущее к расширению понятия дома относительно автомобиля и соответственно увеличивающее ожидания относительно него: тепло, интимность, покой и безмятежность, защита; слабое внимание процессу вождения (отсутствие удовольствия, иногда ассоциируемое с трудностями) сопровождаемое интересом к технологиям, как к продолжению человека.

В итоге потребители ожидают от автомобиля достаточно высокий уровень комфорта и облегченности быта.

Функциональность автомобиля. Ключевой чертой функциональности автомобиля является ожидание универсального автомобиля, как практичного инструмента в городе и вне его пределов. Приведем ряд факторов влияния которых одним из ключевых требований к автомобилю делают его многофункциональность или способность противостоять плохому состоянию дорог (неасфальтированные дороги, с разрушенным дорожным покрытием, труднопроходимые): риск поломки автомобиля: удар камнем, провалы в покрытии, снежные заносы). Опасность механической поломки или ржавчины, а значит затрат на ремонт/замену деталей, или преждевременный износ автомобиля (уменьшение стоимости перепродажи); неудобство вождения и парковки в городе; два фактора беспокойности при наличии дачи и состоянии дорог, ведущих к ней, и в более общем смысле частота семейных поездок за город (пикники, выезд на шашлыки, лыжные катания) по трудным дорогам, от состояния внутригородских дорог; от противного, наличие второго автомобиля, предназначенного для профиля «природа» (охота, рыбалка) снижает стремление к многофункциональности авто (в небольшом проценте случаев модельного ряда).

Восприятие уровня «адаптированности автомобиля к российским дорогам» является одним из факторов выбора автомобиля, из которого вытекает ряд требований к нему: жесткая подвеска, которая облегчает преодоление препятствий; высокий клиренс, как повышение его проходимости и соответственно защита от неровностей на дороге.

Часто также с целью защиты автомобиля от рисков механического и эстетического повреждения докупается дополнительное оборудование такое, как пластиковые панели обвеса, защита картера, мощный амортизатор.

Трансмиссия во внедорожниках SUV является предметом неопределенности в отношении цена/проходимость-безопасность. Для владельцев внедорожников SUV, трансмиссия такого автомобиля остается предметом обсуждения, прежде всего по функциональным причинам: повышения уровня проходимости автомобиля; безопасности: устойчивость на обледенелых дорожных покрытиях.

Психологически, выбор трансмиссии 4x4 является символическим приближением к категории «Jeep» (большие внедорожники SUV) на которых существует большой спрос. Выбор трансмиссии 4x2 определяется двумя причинами: доступность в категории «Цена», особенно для типа «компенсаторы» (см. раздел Типы автомобилистов); отсутствием необходимости передачи 4x4, по причине редких выездов на дальние расстояния (особенно в городском цикле) или же если дача находится относительно близко.

Дизайн автомобиля. Основными факторами, влияющими на формирование вкусовых предпочтений (дизайна) автомобиля, являются: усредненный дизайн (все категории предложения) однообразный выбор (даже если он находится на стадии разработки вследствие появления новых марок или сетей распространения за границей в сфере потребления товаров потребления, оборудования или жилья); дорогостоящий дизайн, который преобладает над функциональностью, и традиционностью; классовый конформизм действует как объединяющий фактор и усреднитель ожиданий (не отдаваясь от консенсуса, изменять его оригинальность); инвестирование в дизайн связано с сегментом автомобиля (т.е с его стоимостью): формальные различия более многочисленны в коммерческих сегментах; покупатели автомобилей категории В+ и С (за исключением женщины), чьи функциональные нужды удовлетворены, обращают особое внимание дизайну.

Дизайн автомобиля выполняет две функции: статусную: является маркером социальной принадлежности (реальной или желаемой) и психологическую: эмоциональное удовольствие от внешнего вида автомобиля (удовольствие, уверенность, радость, и т.д.).

Марка автомобиля. Существует сформировавшаяся иерархия производителей, расположенных на оси: Функция-Престиж.

Марки автомобилей имеют достаточно четкую связь и принадлежность к социальной стратификации (российские/ базовый класс, средний класс, высший средний класс, элитарный, престижный класс).

Марки часто декодируются по одной эмблемной модели, которая своим успехом характеризует производителя.

Некоторые марки принимают негативные элементы имиджа, среди таких моделей.

Верность маркам на территории страны довольно слабо распространена. Перемены производителей очень часты, подкрепляемые двойной целью: поиск нового, нового опыта; повышение категории автомобиля в стремлении к постоянному личностному росту внутри предложения на рынке.

Базовый класс марок автомобилей.

Покупка нового автомобиля уже воспринимается, как одна из составляющих самореализации.

Социально маркированная группа (обыкновенный русский, деклассированный, несерьезный, безответственный)

Двойная внутренняя динамика: падающий тренд на покупку российских автомобилей до 2022 года и возрастающий со 2-квартала 2022 года; растущий тренд на покупку китайских марок.

Низкое качество сборки и в отношении всех характеристик автомобиля: технологии (автоматическая коробка передач), безопасность (металл, тормоза, подушки безопасности), оснащенность, комфорт (звукоизоляция, мягкость сидений), дизайн, отсутствие инноваций и высокая цена.

Экономический класс.

Оптимальные марки, представляющие наиболее рациональное решение в выборе автомобиля по критериям финансовой доступности, технических параметров комфорта и надежности, имиджа производителя.

Группа, обозначающая об уходе от русского мира автомобилей и автомобилей б/у и доступ к современности автомобильного средства. Она расценивается как переходный этап к маркам высшего среднего класса.

Высший средний класс.

Марки, переживающие рост спроса на рынке автомобилей под влиянием имиджа производителя, качества материалов и оборудования, а значит ощутимый подъем внутри социальной структуры России для владельца. Однако, в силу изменившейся ситуации на рынке, количество предложений на описываемые автомобили резко упало.

Группа, представляющая собой подготовительную стадию к престижной категории автомобилей (принадлежащих к бизнес-классу)

Китайский автопром.

Еще один заметный тренд — переход россиян на китайские автомобили. До 2022 г. структура рынка по автобрендам была сбалансирована и отличалась стабильностью. Однако, начиная со 2-го квартала 2022 г. потребители начали адаптироваться к новым реалиям, наращивая покупки автомобилей российских и китайских марок. По оценкам В1, совокупная доля продаж китайских автомобилей по итогам 2021 г. составила около 33%, по итогам 2022 г. — около 56%.

Рассмотри пример анализа конкретной марки внутри рассматриваемого рынка.

Выбор модели базируется на двух факторах: стремление к продвижению (автомобиль как предмет и показатель статуса), с одной стороны, и финансовыми трудностями с другой стороны. Эта проблема решается посредством балансирования в выборе марки, типа кузова, модели и уровня его оснащенности.

Целевые группы с финансовыми трудностями оценивают общую сумму собственности: размеры расходов на обслуживание, расхода топлива, легкости и цены перепродажи, изучаются вплотную, так же, как и сумма ежегодного налога на индивидуальный транспорт.

Роль марки прослеживается на двух уровнях: надежность, которая остается требованием потребителей в стране, где состояние дорог подвергает опасности как автомобиль, так и жизнь человека, и в контексте поломок, которые стереотипно свойственны российским автомобилям (собственный или замеченный опыт); статус выражается через четкую иерархизацию марок по критерию престижности. Эта стратификация предполагает калькирование социальной структуры российского общества (базовый класс, низший средний класс, высший средний класс и элита)

Место сборки автомобиля говорит о его качестве. Безопасность и постоянная обеспокоенность с целью противостоять дорожным и климатическим неблагоприятным условиям.

Ожидания комфорта базируются на этих же двух элементах. Добавим передачу автомобилю характеристики дома (комфорт, удобство, тепло, семейный очаг).

Стремление к полной автоматизации автомобиля является характерной чертой русского автомобилиста. «Умная машина-автомат», обладающая всем необходимым комфортом и частично снимающая ответственность с водителя.

Для противостояния состоянию дорог и погодным условиям, основным является стремление к многофункциональности автомобиля (высота клиренса, защита, подвеска).

В независимости от типа кузова, сфера дизайна требует значительного внимания и вложений (в основном у женщин, в меньшей степени у мужчин, и представляет все более волнующий фактор постепенного повышения классовости автомобиля): в условиях полного несоблюдения правил дизайна, классовый/групповой конформизм действует как усреднитель вкусов; выделяется 5 основных параметров оценки: современность, лаконичность, экспрессивность, динамичность, мощность.

Список литературы

1. Дебелов В.В. Моделирование электронной системы регулирования скорости движения легкового автомобиля в режимах поддержания и ограничения скорости / В.В. Дебелов, В.В. Иванов, В.Н. Козловский, В.И. Строганов // Электроника и электрооборудование транспорта. 2013. № 6. С. 2-7.

2. Козловский В.Н. Потребительская ценность качества автомобилей / В.Н. Козловский, Г.Л. Юнак, Д.В. Айдаров, С.А. Шанин // Стандарты и качество. 2017. № 12. С. 76-80.
3. Panyukov D. Development and research FMEA expert team model / D. Panyukov, V. Kozlovsky, Y. Klochkov // International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering. 2020. Т. 27. № 5
4. Козловский В.Н. Концепция методологии комплексной программы улучшений / В.Н. Козловский, Д.И. Благовещенский, Д.В. Айдаров, Д.И. Панюков, Р.Д. Фарисов // Стандарты и качество. 2022. № 7. С. 36-42.
5. Строганов В.И. Математическое моделирование основных процессов электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой / В.И. Строганов, В.Н. Козловский, А.Г. Сорокин, Л.Х. Мифтахова // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 7. С. 129-132.
6. Панюков Д.И. Новое руководство по FMEA: структурный анализ процессов / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров // Методы менеджмента качества. 2020. № 10. С. 36-42.
7. Козловский В.Н. Моделирование электронной системы VVT управления двигателем легкового автомобиля / В.Н. Козловский, В.В. Дебелов, М.А. Пьянов // Электроника и электрооборудование транспорта. 2014. № 4. С. 5-12.
8. Козловский В.Н. Стратегическое планирование конкурентоспособности с точки зрения качества / В.Н. Козловский, С.А. Шанин, Д.И. Панюков // Стандарты и качество. 2017. № 3. С. 76-80.
9. Дебелов В.В. Электронная система управления автомобиля "Start-Stop" / В.В. Дебелов, В.Н. Козловский, В.Е. Ют // Электроника и электрооборудование транспорта. 2014. № 2. С. 6-9.

Клентак Анна Сергеевна, канд. техн. наук, доцент, anna_klentak@mail.ru, Россия, Самара, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,

Козловский Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Kozlovskiy-76@mail.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет,

Гусев Алексей Викторович, аспирант, gusevav@aviacor.ru, Россия, Самара, Самарский государственный технический университет

PRIMARY ASPECTS OF DEVELOPING A METHODOLOGY FOR FORECASTING THE QUALITY OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS DEMANDED BY CONSUMERS WHEN A MANUFACTURING COMPANY ENTERS NEW COMPETITIVE MARKETS

A.S. Klentak, V.N. Kozlovsky, A.V. Gusev

The paper presents the primary results of developing a methodology based on the use of which a machine-building company can predict the assessment of product quality that is in demand among consumers when entering new competitive markets.

Key words: competitiveness, mechanical engineering, automotive industry, quality, forecasting.

Klentak Anna Sergeevna, candidate of technical sciences, docent, anna_klentak@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University),

Kozlovsky Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, head of the department, Kozlovskiy-76@mail.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University,

Gusev Alexey Viktorovich, postgraduate, gusevav@aviacor.ru, Russia, Samara, Samara State Technical University

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ

Т.Э. Хаев

Статья исследует вопрос совершенствования организационно-управленческих решений при определении технического состояния несущих конструкций здания. Основной акцент делается на анализе проблем, связанных с управлением и оценкой состояния несущих конструкций здания. В статье рассматриваются различные методы и подходы, которые могут быть использованы для определения технического состояния несущих конструкций здания. Также в статье описывается опыт и практика различных организаций в данной области и предлагаются рекомендации по совершенствованию процесса управления и оценки состояния несущих конструкций здания. В результате проведенного исследования констатируется необходимость разработки новых организационно-управленческих решений для более эффективного определения технического состояния несущих конструкций здания.

Ключевые слова: организационно-управленческие решения, состояние несущих конструкций, определение технического состояния, совершенствование организационно-управленческих работ.

Актуальность совершенствования организационно-управленческих решений при определении технического состояния несущих конструкций здания многогранна и имеет несколько аспектов:

1. Безопасность. Повреждения или неполадки в несущих конструкциях здания могут представлять угрозу для людей, находящихся внутри. Совершенствование организационно-управленческих решений в этой области помогает обеспечить безопасность и предотвратить возможные аварии или обрушения.

2. Экономическое обоснование. Определение технического состояния несущих конструкций здания позволяет оценить их долговечность и необходимость ремонта или замены. Это помогает предотвратить непредвиденные расходы и оптимизировать расходы по обслуживанию здания.

3. Устойчивость к изменению условий эксплуатации. Здания могут подвергаться воздействию различных факторов, таких как изменение нагрузки, климатические условия или нормативные требования. Совершенствование организационно-управленческих решений позволит адаптировать здание к новым условиям и обеспечить его устойчивость.

4. Долговечность зданий. Определение технического состояния несущих конструкций позволяет выявить потенциальные проблемы и провести своевременные ремонтные работы, что способствует увеличению срока службы здания и экономии ресурсов.

5. Соблюдение нормативных требований. Во многих странах существуют нормативные акты, регламентирующие обязательные проверки и испытания технического состояния несущих конструкций здания. Совершенствование организационно-управленческих решений помогает обеспечить соблюдение этих требований и избежать возможных штрафов или претензий со стороны контролирующих органов.

Таким образом, совершенствование организационно-управленческих решений при определении технического состояния несущих конструкций здания является актуальным и важным заданием, которое помогает обеспечить безопасность, эффективность эксплуатации и устойчивость здания.

Совершенствование организационно-управленческих решений при определении технического состояния несущих конструкций здания может быть достигнуто путем внедрения следующих мероприятий:

1) Модернизация системы мониторинга и контроля. Необходимо установить современное оборудование, позволяющее получать точные и надежные данные о состоянии несущих конструкций здания. Это может быть система датчиков, которая будет регистрировать деформации, трещины, вибрации и другие параметры, а также система удаленного мониторинга, позволяющая оперативно получать информацию о состоянии конструкций.

2) Внедрение автоматизированных систем управления. С использованием современных технологий можно разработать и внедрить систему автоматизации процесса определения технического состояния несущих конструкций здания. Это позволит сократить время и усилия, затрачиваемые на проведение обследований и оценку состояния конструкций [3,4].

3) Внедрение информационных систем. Создание информационной базы данных о техническом состоянии несущих конструкций здания позволит эффективно планировать и организовывать мероприятия по их обследованию и ремонту. Такая система должна предоставлять актуальные данные о состоянии конструкций, сроках проведения обследований, ремонтных работ и контроля исполнения.

4) Оптимизация процесса принятия решений. При определении технического состояния несущих конструкций здания необходимо проводить анализ и оценку полученных данных, а также принимать решения о дальнейших действиях. Для этого можно разработать и использовать методики и алгоритмы, позволяющие оценить состояние конструкций и выработать оптимальные меры по их ремонту и обследованию [9].

5) Обучение и повышение квалификации персонала. Определение технического состояния несущих конструкций здания требует специальных знаний и навыков. Персонал, занимающийся этим вопросом, должен регулярно проходить обучение и повышать свою квалификацию. Это может быть достигнуто путем проведения специальных семинаров, курсов, тренингов и обучающих программ.

6) Внедрение системы управления качеством. Для эффективного определения технического состояния несущих конструкций здания необходимо иметь хорошо организованный процесс управления качеством. Внедрение системы управления качеством позволит обеспечить контроль и надзор за всеми этапами процесса обследования и ремонта, а также повысить качество предоставляемых услуг.

Модернизация системы мониторинга и контроля при совершенствовании организационно-управленческих решений при определении технического состояния несущих конструкций здания является важным шагом для обеспечения безопасности и долговечности здания. Это позволяет оперативно реагировать на возможные проблемы и предотвращать аварийные ситуации [18].

Внедрение автоматизированных систем управления при определении технического состояния несущих конструкций здания имеет ряд практических и экономических преимуществ. Однако, необходимо учесть, что данная автоматизация требует внедрения специального оборудования и программного обеспечения, а также обучения персонала для работы с этими системами.

Внедрение информационных систем при определении технического состояния несущих конструкций здания имеет множество преимуществ, таких как повышение точности и своевременности информации, эффективное принятие решений и координация деятельности различных сторон. Это содействует совершенствованию организационно-управленческих решений и обеспечивает безопасность и стабильность зданий.

Оптимизировать процесс можно с помощью использования специального программного обеспечения для управления процессом принятия решений и автоматизации некоторых задач, таких как сбор и анализ данных. Также важно учесть мнение и опыт специалистов в области строительства и эксплуатации зданий при принятии решений.

Для обучения и повышения квалификации персонала важно создать мотивационную систему, которая будет поощрять персонал за достижение хороших результатов и развитие своих компетенций. Обучение и повышение квалификации персонала должны быть постоянным процессом, чтобы организация могла успешно совершенствовать свои организационно-управленческие решения в определении технического состояния несущих конструкций здания.

Внедрение системы управления качеством при совершенствовании организационно-управленческих решений в определении технического состояния несущих конструкций здания позволяет гарантировать безопасность и надежность здания, а также повышает доверие клиентов и инвесторов к организации.

Список литературы

1. Серова Р.Ф., Хаев Т.Э., Ткач Е.В. Изучение свойств гипсовых систем с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // *Фундаментальные исследования*. 2017. № 6. С. 80-85.
2. Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Научно-технические предпосылки разработки облегченных гипсовых систем с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // *Научное обозрение*. 2017. № 7. С. 28-32.
3. Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Модифицированный облегченный гипсовый материал с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // *Строительные материалы*, 2017. № 10. С. 45-51.
4. Бидов Т.Х. Организационно-технологические и управленческие решения использования методов неразрушающего контроля при возведении монолитных конструкций // *Научное обозрение*, 2017. №13. С. 54-57.
5. Бидов Т.Х., Аветисян Р.Т. Формирование производственно-технологических модулей // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2019. Вып. 12. С. 496-498.
6. Бидов Т.Х., Аветисян Р.Т. разработка организационно-технологической модели потенциала устройства временного крепления стенок выемок при производстве работ нулевого цикла // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2019. Вып. 12. С. 427-431.
7. Лапидус А.А. Потенциал эффективности организационно-технологических решений строительного объекта // *Вестник МГСУ*. 2014. № 1. С. 175—180.
8. Лапидус А.А., Бидов Т.Х. Формирование производственно-технологических модулей, обосновывающих использование методов неразрушающего контроля при возведении монолитных конструкций гражданских зданий // *Наука и бизнес: пути развития*. 2019. №1. С. 31-36.
9. Хаев Т.Э., Аветисян Р.Т. Факторы, влияющие на принятие организационно-технологических решений при выборе конструктивных методов креплений стенок выемок и котлованов // *Наука и бизнес: пути развития*, 2019. С. 85-87.
10. Хубаев А.О. Описание эксперимента при расчете потенциала производства зимнего бетонирования // *Известия тульского государственного университета. Технические науки*. 2020. Вып. 2. С. 247-252.
11. Хубаев А.О., Бидов Т.Х. Организационно-технологический потенциал использования методов неразрушающего контроля при производстве бетонных работ в зимний период // *Наука и бизнес: пути развития*, 2018. №4. С. 101-104.
12. Хубаев А.О., Бидов Т.Х. Организационно-технологический потенциал использования методов неразрушающего контроля при производстве бетонных работ в зимний период // *Наука и бизнес: пути развития*, 2018. С. 101-104.
13. Lapidus A., Bidov T., Khubaev A. The study of the calibration dependences used when testing the concrete strength by nondestructive methods // *MATEC Web of Conferences*. 2017. V. 117. P. 00094. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711700094>.
14. Lapidus A., Khubaev A., Bidov T. Organizational and technological solutions justifying use of non-destructive methods of control when building monolithic constructions of civil buildings and structures // *MATEC Web of Conferences*. 2019. V. 251. P. 05014.
15. Lapidus A., Khubaev A., Bidov T. Development of a three-tier system of parameters in the formation of the organizational and technological potential of using non-destructive testing methods // *E3S Web of Conferences*. 2019. V. 97. P. 06037. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706037>.
16. Lapidus A., Kangezova M., Bidov T. Systematization of organizational and technological aspects of scientific technical support of buildings and constructions over 100m high // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. V. 698. P. 022091.
17. Лапидус А.А., Фатуллаев Р.С. Оценка потенциала проведения внеплановых ремонтных работ многоквартирных жилых домов // *Научное обозрение*, 2017. С. 10–13.
18. Фатуллаев Р.С., Хаев Т.Э. Использование современных строительных материалов как фактор, влияющий на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта // *Перспективы науки*, 2019. Вып. 5. С. 224-228.
19. Казакова Н.Е. Повышение квалификации как фактор обеспечения компетентности персонала при строительстве телекоммуникационных объектов и сооружений связи // *Вес качества*, 2016. №2. С. 112-119.

Хаев Тотраз Эдуардович, доцент, haevt@mail.ru, Россия, Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

IMPROVEMENT OF ORGANIZATIONAL AND MANAGERIAL DECISIONS IN DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDING LOAD-BEARING STRUCTURES

T.E. Khaev

The article explores the issue of improving organizational and managerial decisions in determining the technical condition of building load-bearing structures. The main focus is on the analysis of problems related to the management and assessment of the condition of the building's load-bearing structures. The article discusses various methods and approaches that can be used to determine the technical condition of building load-bearing structures. The article also describes the experience and practice of various organizations in this field and offers recommendations for improving the process of management and assessment of the condition of building load-bearing structures. As a result of the conducted research, it is stated that it is necessary to develop new organizational and managerial solutions for more effective determination of the technical condition of the building's load-bearing structures.

Key words: organizational and managerial decisions, the state of load-bearing structures, determination of the technical condition, improvement of organizational and managerial work.

Khaev Totraz Eduardovich, docent, haevt@mail.ru, Russia, Moscow, National research Moscow state University of civil engineering

УДК 658.5

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-623-624

РАНЖИРОВАНИЕ ПРОЕКТОВ В ПОРТФЕЛЕ ЗАКАЗОВ АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

М.Н. Фетисов, С.А. Васин, Н.Н. Трушин

Рассмотрены особенности авиастроения как наукоёмкой отрасли машиностроения. Перечисляются проблемы, существующие в отечественной авиастроительной промышленности. Решение поставленных задач менеджментом предприятия-разработчика осуществляется на принципах проектного подхода и методах разрешения неопределённостей при проведении проектно-конструкторских работ. Оптимизация планирования проектной деятельности предприятия-разработчика выполняется на основе ранжирования проектов из портфеля заказов авиастроительного предприятия. Рассматриваются основные положения методики трёхуровневой приоритизации проектов. В результате оптимизации процессов организации и планирования проектов удалось повысить количество проектов, выполненных в установленные сроки.

Ключевые слова: проект, планирование, экспертиза проекта, приоритет проекта, ранжирование проектов.

Перед Россией сейчас стоит важнейшая задача – создать условия для качественного роста своей промышленности. Реализация российской промышленной политики осуществляется в условиях воздействия широкого комплекса рисков, в том числе макроэкономических (глобального и национального уровня), технологических, социальных. Для улучшения позиций российской экономике необходимо опережающими темпами наращивать инновационный потенциал, повышать производительность труда, технологический уровень промышленности и скорость внедрения новых разработок в производство. Необходимость дальнейшего совершенствования механизмов формирования и реализации промышленной политики объясняется складывающейся макроэкономической ситуацией и поставленными стратегическими задачами [1].

Общемировой тенденцией экономического развития является возрастание роли наукоёмких производств, конкурентоспособных на мировом рынке производств и их опережающий рост в структуре обрабатывающих отраслей промышленности [2]. Машиностроение как ведущая обрабатывающая отрасль является основой промышленности и источником разностороннего роста национальных экономик. Современные машиностроительные предприятия характеризуются высокой стоимостью своих компонентов, функциональной и структурной сложностью, многовариантностью возможных технических, технологических, плановых и организационных решений, необходимостью поиска в кратчайшие сроки оптимального решения для конкретного заказчика. Последнее обстоятельство получило наименование «кастомизация производства» или «индивидуализированное производство», характерные свойства которого неоднократно рассмотрены в зарубежных и отечественных публикациях [3-5]. В этих условиях основной задачей при планировании проектно-конструкторских работ является формирование совокупности конструкторской, технологической, эксплуатационной и другой необходимой документации в заданные сроки и при минимальных издержках [6]. А поэтому в сложившихся технико-экономических условиях необходимо создание новых и модернизация существующих методов организации, планирования и подготовки машиностроительных производств [7-9].

Авиастроение является одной из ведущих отраслей машиностроения России, обладающее громадным научно-техническим потенциалом. С момента своего появления авиастроение играет роль одного из драйверов развития мировой и отечественной экономики [10]. Однако в сфере авиастроения России существуют серьёзные проблемы. Во-первых, парк отечественных самолетов и вертолетов морально и физически устарел, но его обновление объективно не может быть быстрым. Во-вторых, в ряде случаев для новых разработок необходимо преодолеть отставание от зарубежных аналогов по некоторым экономическим показателям, что также требует дополнительных ресурсов. В-третьих, авиастроительная отрасль испытывает колоссальное санкционное давление со стороны недружественных государств, отказавшихся от сотрудничества с российскими предприятиями и ранее взятых обязательств. В-четвёртых, научно-технический и конструкторский потенциал российской авиапромышленности испытывает проблемы, все острее становится дефицит научных и инженерных кадров в области авиастроения.

Сложившаяся структура крупного авиастроительного холдинга «Вертолеты России» включает в себя предприятие-разработчик и предприятия-производители. Предприятие-разработчик АО «НЦВ Миль и Камов» выполняет основной объём проектно-конструкторских работ по созданию новой и модернизации эксплуатируемой авиационной техники. Производственные возможности предприятия-разработчика ограничены рамками изготовления отдельных опытных образцов вертолетов. Серийное производство новой авиационной техники, ее ремонт и модернизацию осуществляют предприятия-производители, которые в своей производственной деятельности руководствуются технической документацией, поступающей от предприятия-разработчика. Очевидно, что любой сбой в работе цепочки «предприятие-разработчик – предприятие-производитель» приводит к срыву производственных заданий и государственных заказов.

В настоящее время наиболее эффективным методом реализации идей, доведения их до практического использования в необходимые сроки и с потребным расходом материальных и финансовых ресурсов, является проектный подход к организации и осуществлению управления. Применение проектных методов в организации производства машиностроительной продукции позволит значительно ускорить процесс организации производства за счёт применения специальных методов проектного управления. Как отмечают специалисты в области менеджмента, основные недостатки при организации машиностроительного производства – перерасход ресурсов, планируемых для подготовки производства, невыполнение сроков, в которые необходимо организовать производство, несоответствия в технологических процессах, которые должно реализовывать производство для обеспечения требуемого качества продукции [11].

В процессе выполнения проектов, которые управляются на базе рамочных стандартов, многие компании неизбежно переходят к управлению по корпоративным стандартам, смысл и содержание которых состоит в их детализации и специализации. Введение в корпоративный стандарт только тех методик, которые имеют отношение к проектному управлению именно на этом предприятии и ориентированы, прежде всего, на реальную деятельность этого предприятия, называется специализацией. При этом корпоративный стандарт выделяет и описывает организационные структуры, входы и выходы процессов управления, области знаний и т. д. [12].

Данный подход используется и в системе менеджмента на предприятиях холдинга «Вертолеты России», в котором была разработана иерархическая система универсальных и специальных локальных нормативных актов (ЛНА): «Положение о проектной деятельности», «О планировании производственной деятельности», «Порядок исполнения и контроль исполнения производственного плана», «План-график проекта», «Кодификатор заказов» и ряда других. При этом реализация процедур организации и планирования проектов, управления проектной деятельностью осуществляется в том числе и на основе методологии управления программными процессами и вычислительными ресурсами, используемыми в операционных системах ЭВМ [13, 14].

На предприятиях холдинга «Вертолеты России» проект в соответствующих стандартах организации (СТО) трактуется как «организационные рамки для планомерной, систематической и построенной на методических правилах уникальной деятельности, имеющей определенную дату начала и продолжительность, и направленной на достижение определенных целей с помощью использования ресурсов». На предприятии-разработчике холдинга одновременно ведётся разработка несколько сотен проектов, различающихся в широких пределах по своим свойствам. Проект характеризуется свойствами коллектива его исполнителей и имеет своего руководителя, выполняющем все функции управления проектом в целом. В рамках проекта выделяется также работа, или задача, под которой понимается отдельный плановый элемент работ проекта, который имеет оценочную длительность, стоимость и предполагаемые требования к ресурсам (исполнителям).

Проект может иметь три статуса: «Прогноз», «Планируется», «Выполняется». Статус «Прогноз» присваивается проекту, в отношении которого на предприятии-разработчике производится процедура восприятия и согласования заявки со стороны организации-заказчика. Статус «Планируется» присваивается проекту, в отношении которого осуществляется процесс формирования и оформления некоторого предусмотренного документа: официального договора, протокола о намерениях и т. п. После завершения предварительных процедур проект получает статус «Выполняется»; это означает, что проект актуализируется соответствующими приказами (распоряжениями) руководителя предприятия-разработчика с формированием плана-графика. План-график проекта формируется в соответствии с локальными нормативными актами холдинга и предприятия-разработчика, включает информацию о содержании, объемах, сроках исполнения работ, необходимых ресурсах для выполнения работ, учитывает технологический цикл проведения работ.

Кроме статуса, проект может иметь одно из трёх предусмотренных состояний: активный, отложенный, закрытый (точно так же, как это принято в отношении программных процессов в теории операционных систем ЭВМ). Так же, как в теории распределения вычислительных ресурсов в ЭВМ, каждый проект в обязательном порядке наделяется свои приоритетом, под которым понимается относительная значимость (важность) конкретного процесса в общей совокупности исполняемых проектов предприятия-разработчика. Кроме этого, каждый проект характеризуется плановым периодом исполнения (завершения), а также другими метрическими и неметрическими параметрами, необходимыми для организации и планирования проектных работ. Такими параметрами, в частности, являются плановая трудоёмкость работ по проекту в нормо-часах, плановые сроки начала и завершения проекта, процент исполнения на данный момент времени, конкретные исполнители проекта (кроме руководителя проекта) и др.

Совокупность текущих проектов предприятия-разработчика образует портфель проектов. Внутри портфеля проектов организуется их группирование по степени близости решаемых задач.

Поскольку количество исполняемых проектов на предприятии-разработчике велико, то с целью повышения качества планирования проектной деятельности необходимо было реализовать методику приоритизации проектов, на основе которой осуществлять их ресурсное обеспечение. С целью преодоления сложившихся организационно-плановых проблем на предприятии-разработчике была организована трёхуровневая система приоритетов проектов, в соответствии с которой приоритет каждого проекта может быть высоким, обычным (средний) или низким.

В 2021 г. менеджмент предприятия-разработчика принял решение упорядочить процесс назначения приоритетов проектам. В итоге был разработан и принят к исполнению корпоративный стандарт «Методика определения приоритета проекта», в котором регламентируется система конкретных методических приёмов, способов и средств для обоснования целесообразного проведения какой-либо работы (проекта) на основе присваивания приоритетов проектам при управлении портфелем проектов предприятия. Ранжирование проектов предусматривается в соответ-

ствии со стратегией предприятия, финансовыми аспектами его работы, периодом инвестирования, значениями риска и доходности, организационными аспектами.

Были приняты следующие характеристики ранжирования проектов. Проекты высокого приоритета соответствуют стратегическим разделам производственного плана головного предприятия (холдинга), как правило, такие проекты устанавливаются государственными заказами. Кроме проектов из государственных заказов высокий приоритет может присваиваться и иным, изначально менее приоритетным проектам по специальному решению менеджмента холдинга. Осуществление таких проектов должно происходить в первую очередь. Для реализации высокоприоритетного проекта возможно привлечение дополнительных ресурсов и специалистов, которые участвуют в реализации других, менее приоритетных проектов. В этом случае выполнение низкоприоритетного проекта может замедляться или приостанавливаться.

Проекты обычного приоритета также соответствуют стратегическим целям холдинга, осуществление такого проекта имеет обычную важность и срочность. Реализация такого проекта может быть приостановлена по специальному решению менеджмента холдинга, если для реализации проекта высокого приоритета требуются дополнительные ресурсы и исполнители. Обычный приоритет устанавливается по умолчанию всем проектам, которые не относятся к государственным заказам.

Проекты низкого приоритета в своей массе тоже соответствуют стратегическим целям холдинга, но их исполнение часто может происходить по так называемому «остаточному» принципу по мере высвобождения ресурсов и исполнителей при завершении проектов высокого и обычного приоритетов.

Процедура ранжирования и назначения приоритетов проектов включает: 1) расчет и назначение весов (баллов) для ранжирования проектов; 2) определение, какой проект должен получить наивысший приоритет в системе планирования предприятия.

Для расстановки приоритетов проектов используется многокритериальная модель ранжирования. Для определения приоритета проекта используются оценки, получаемые расчетным и экспертным методами [15, 16]. Критерии оценки проекта и их относительные веса отражены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии оценки проекта

ГРУППА	ВЕС ГРУППЫ	КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ	ВЕС КРИТЕРИЯ
Управляемость (У)	0,8	Важность заказчика (C_B)	0,4
		Соблюдение сроков по договорам (C_{CP})	0,2
		Отставание по срокам от графика (C_{OC})	0,3
		Наличие в плане НИОКР ($C_{НП}$)	0,1
Финансовая привлекательность (ФП)	0,2	Выручка от выполнения НИОКР ($C_{Ф}$)	1,0

Рассмотрим далее методы вычисления критериев.

1. Критерий «Важность заказчика» вычисляется по целочисленной шкале рангов от 1 (Гособоронзаказ) до 4 (прочие заказы).

2. Критерий «Соблюдение сроков по договорам» отражает, сколько дней осталось до выполнения договорных обязательств или на сколько дней сорван срок выполнения договорных обязательств по отношению к дате расчета критерия. Для расчета данного критерия с целью корректного определения веса по установленным константным коэффициентам, определяющим важность каждого отдельного критерия, применяется метод «нормализации данных методом линейного нормирования» со следующим алгоритмом:

1) определить в перечне проектов дату окончания проекта по договору и дату проведения расчета;

2) путём вычитания из даты проведения расчета даты окончания по договору, рассчитать количество дней до завершения по договору (C_{CO}). В случае если срок по договору не выдержан, количество дней получает отрицательное значение (т. е. присваивается знак «минус»);

3) для перевода всех отрицательных значений (C_{CO}) в положительные значения, выбирается минимальное значение (C_{MCC}) и отнимается от полученного значения (C_{CO}) по каждому проекту по формуле:

$$C_{СП} = C_{CO} - C_{MCC} ,$$

где $C_{СП}$ – приведенное количество дней до срока по договору.

4) критерий «Соблюдение сроков по договорам» (C_{CP}) рассчитывается по формуле:

$$C_{CP} = \frac{5C_{СП}}{C_H} ,$$

где C_{CP} – значение критерия «Соблюдение сроков по договорам»; C_H – максимальное значение из всех значений $C_{СП}$.

Минимальное значение критерия «Соблюдение сроков по договорам» получает проект с максимальным количеством дней отставания от срока по договору.

3. Критерий «Отставание по срокам от графика» (C_{OC}) отражает, сколько дней осталось до даты окончания проекта или на сколько дней произошло отставание по срокам от утвержденного плана. Для расчета критерия данного критерия с целью корректного определения веса по установленным константным коэффициентам, определяющим важность каждого отдельного критерия, также применяется метод «нормализации данных методом линейного нормирования по следующему алгоритму:

1) определяется в перечне проектов базовую дату окончания проекта и дату окончания проекта по плану-графику, далее рассчитываются сроки до окончания проекта в днях;

2) путём вычитания из даты окончания проекта даты базового окончания проекта рассчитывается количество дней до завершения по договору (C_{CB}). Все значения по отставанию от срока базового окончания проекта получаются отрицательными (т. е. со знаком «минус»);

3) для перевода всех отрицательных значений (C_{CB}) в положительные значения, выбирается минимальное значение ($C_{МСО}$) и отнимается от полученного значения (C_{CB}) по каждому проекту по формуле:

$$C_{СОП} = C_{CB} - C_{МСО},$$

где $C_{СОП}$ – приведенное количество дней до срока по договору;

4) Критерий «Отставание по срокам от графика» (C_{OC}) рассчитывается по формуле:

$$C_{OC} = \frac{5C_{СОП}}{C_H},$$

где C_{OC} – значение критерия «Отставание по срокам от графика»; C_H – максимальное значение из всех значений $C_{СОП}$;

4) минимальное значение критерия «Отставание по срокам от графика» получает проект с максимальным количеством дней отставания от срока по договору.

4. Критерий «Наличие в утвержденном плане НИОКР» ($C_{НП}$) определяется по наличию или отсутствию проекта в утвержденном плане НИОКР: он равен 1, если проект включён в план НИОКР предприятия-разработчика, или равен 5, если проект не был включён в план НИОКР.

5. Критерий «Выручка» ($C_{Ф}$) определяется в расчетном периоде (квартале) следующим образом: если финансовая выгода от реализации проекта не ожидается или незначительна, то критерий равен 5; если же от реализации проекта финансовая выгода ожидается, то критерий равен 1 или 2 в зависимости от ожидаемого объёма выручки (1 – максимальная ожидаемая финансовая выгода).

6. Обобщенная оценка проекта по критериям группы «Управляемость» производится по формуле:

$$Y = 0,4C_B + 0,2C_{CP} + 0,3C_{OC} + 0,1C_{НП},$$

где Y – оценка проекта по критериям группы «Управляемость»; C_B – оценка критерия «Важность заказчика»; C_{CP} – значение критерия «Соблюдение сроков по договорам»; C_{OC} – значение критерия «Отставание по срокам от графика»; $C_{НП}$ – значение критерия «Наличие в утвержденном плане НИОКР».

7. Оценка проекта по критериям группы «Финансовая привлекательность» производится по формуле:

$$ФП = C_{Ф},$$

где $C_{Ф}$ – финансовая выгода (выручка).

8. Приоритет проекта (P) далее рассчитывается на основании оценки проекта по критериям:

$$P = 0,8Y + 0,2ФП,$$

где Y – оценка проекта по критериям группы «Управляемость»; $ФП$ – оценка проекта по критериям группы «Финансовая привлекательность».

По результатам проведения всех расчетов приоритетным считается проект, который по итогам расчета получил более низкий балл. В соответствии с присвоенным баллом проекты ранжируются в порядке значимости. Если при расчете приоритета, проекты набрали равнозначное количество баллов, такие результаты пересчитываются с наибольшей точностью расчета. Приоритеты проектов периодически подтверждаются менеджментом холдинга (как правило, каждый месяц), при необходимости выполняется коррекция приоритетов в ту или иную сторону.

Для повышения процента выполнения планов с учетом возникновения внеплановых работ было предложено разделить ресурсные возможности предприятия-разработчика на две неравные части. Первая часть – это плановые работы, обязательные к выполнению. Вторая часть – это работы, выполняемые из дополнительного перечня работ и срочно возникающих работ. Далее возникла задача: как определить рациональное соотношение ресурсов между проектами с различными приоритетами. Для определения этого соотношения на предприятии-разработчике решили параллельно применить две методики для выработки оптимального решения: проанализировать статистические данные по выполнению проектов прошлых лет и использовать мнение специалистов-экспертов. В табл. 2 приведены результаты анализа соотношений плановых и сверхплановых (внеплановых) проектов за пять лет, где н/ч – нормо-часы, затраченные на выполнение проектных работ. Приведённые статистические данные в определённой мере присущи и для других проектных организаций, проектирующих сложные технические объекты.

Таблица 2

Соотношения между трудоёмкостью плановых и сверхплановых проектов за 5 лет

№ п/п	Год	План, н/ч	Фактическое выполнение, %	Сверхплановые проекты, н/ч	Плановые проекты, %	Сверхплановые проекты, %
1	2018	3 514 972	77	630 000	18	82
2	2019	3 007 726	83	685 000	23	77
3	2020	2 930 589	87	753 000	26	74
4	2021	2 764 340	91	772 077	28	72
5	2022	2 825 952	61	1277420	45	55

На основе анализа статистических данных менеджментом предприятия-разработчика было принято решение установить соотношение 70 %-30 %, или просто 70-30, где 70 % мощности (ресурсов) предприятия выделяются на проекты, обязательные к выполнению, а 30 % мощности – на проекты из дополнительного перечня и сверхплановые (сверхсрочные) проекты.

Результатом внедрения разработанной методики стал рост количества проектов, выполненных в ранее запланированные сроки (табл. 3).

Таблица 3

Результаты проектной деятельности после внедрения методики ранжирования проектов

№ п/п	Год	Количество проектов, шт.	Количество выполненных проектов в плановые сроки, шт.	Выполнено проектов в срок, %
До внедрения методики приоритизации				
1	2018	1378	619	45
2	2019	1527	801	52
3	2020	1324	699	53
После внедрения методики приоритизации				
4	2021	1647	1100	67
5	2022	1428	1022	72
6	2023	1479	1106	75

Практическая реализация предлагаемого подхода к эффективному планированию проектно-конструкторских работ за счет оптимального распределения проектов по подразделениям предприятия-разработчика поэтапно осуществляется в холдинге «Вертолеты России». В результате первого этапа внедрения методов оптимального планирования увеличился выход качественной научной и технической документации в установленные планы сроки. Возможно, что в ходе дальнейшего использования методики ранжирования проектов трёхуровневая система приоритетов будет расширена с целью более точной оценки значимости проектных работ.

Список литературы

1. Мантуров Д.В. О промышленной политике России на перспективу 2018-2030 гг. // Вестник МГИМО-Университета. 2018. № 4 (61). С. 7-22.
2. Латышенко Г.И. Научно-технические технологии и их роль в современной экономике России // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. 2009. № 3 (24). С. 136-140.
3. Вапнярская, О.И. Генезис и современные подходы к определению кастомизации // Сервис в России и за рубежом. 2014. Т. 8. № 6. С. 189-201.
4. Жилкин О.Н., Лопаткин Р.В. Массовая кастомизация. Влияние на конкурентоспособность авиастроительных предприятий и развитие их индустриальных моделей // Вестник Евразийской науки. 2018. №5. [Электронный ресурс]. URL: <https://esj.today/PDF/49ECVN518.pdf> (дата обращения: 15.01.2024).
5. Романовский Р.С., Петросова И.А., Андреева Е.Г. Массовая кастомизация как перспективное направление в развитии промышленного производства // Костюмология. 2021. Т. 6. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/05TLKL421.pdf> (дата обращения: 15.01.2024).
6. Фетисов М.Н. Формализация процесса планирования работы проектно-конструкторской организации // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. № 12. С. 74-79.
7. Майбородин А.Б., Крамаренко К.Д., Васильев В.А. Исследование особенностей календарного планирования и организации работ по подготовке производства к выпуску новых образцов авиационной техники // Технология машиностроения. 2021. № 9. С. 51-57.
8. Аникеева О.В., Ивахненко А.Г. Обеспечение достижимости долгосрочных целей в области качества при скрытом управлении социально-экономическими системами предприятий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 9. С. 461-468.
9. Аникеева О.В., Ивахненко А.Г. Долгосрочное планирование достижения невязанных целей в области качества промышленных предприятий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 4. С. 285-287.
10. Мантуров Д.В., В.Д. Калачанов Организация производства наукоёмкой продукции в авиационной промышленности России в современных экономических условиях // Вестник МАИ. 2012. Т. 19. № 4. С. 186-192.
11. Родионов В.В., Сутина Т.А. Проектное управление организацией машиностроительного производства // Российское предпринимательство. 2010. № 10 (1). С. 95-100.
12. Рассказова-Николаева С.А., Шебек С.В. Корпоративные стандарты: от концепции до инструкции. 2-е изд. М.: Книжный мир, 2008. 320 с.
13. Соловьев Г.Н., Никитин В.Д. Операционные системы ЭВМ: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1989. 254 с.
14. Гордеев А.В. Операционные системы: Учеб. пособие. СПб.: Питер, 2006. 416 с.
15. Трушин Н.Н. Организационно-технологическая структура производственного процесса на машиностроительном предприятии. Тула: ТулГУ, 2003. 230 с.
16. Волков В.И. Основы теории и практики экспертной деятельности. М.: Академия менеджмента инноваций, 2003. 192 с.

Фетисов Михаил Николаевич, заместитель исполнительного директора, [mkhl.ftsv@gmail.com](mailto:mkh1.ftsv@gmail.com), Российская Федерация, Московская область, Люберецкий район, поселок Томилино, НЦВ Миль и Камов,

Васин Сергей Александрович, д-р техн. наук, профессор, vasin_sa53@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Трушин Николай Николаевич, д-р техн. наук, профессор Trushin@tsu.tula.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

RANKING OF PROJECTS IN THE ORDER PORTFOLIO OF AN AIRCRAFT MANUFACTURER ON THE BASIS OF QUALIMETRIC EVALUATION

M.N. Fetisov, S.A. Vasin, N.N. Trushin

The features of aircraft manufacturing as a knowledge-intensive branch of mechanical engineering are considered. The problems existing in the domestic aircraft industry are listed. The solution of the assigned tasks by the management of the development enterprise is carried out on the principles of the project approach and methods for resolving uncertainties when carrying out design work. Optimization of the planning of project activities of the development enterprise is carried out on the basis of ranking projects from the order portfolio of the aircraft manufacturing enterprise. The main provisions of the three-level project prioritization methodology are considered. As a result of optimizing the processes of organizing and planning projects, it was possible to increase the number of projects completed on time.

Key words: project, planning, project examination, project priority, project ranking.

Fetisov Mikhail Nikolaevich, deputy executive director, [mkhl.ftsv@gmail.com](mailto:mkh1.ftsv@gmail.com), Russian Federation, Moscow region, Lyubertsy district, Tomilino village, NCV Mil and Kamov,

Vasin Sergey Alexandrovich, doctor of technical sciences, professor, vasin_sa53@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Trushin Nikolay Nikolaevich, doctor of technical science, professor, Trushin@tsu.tula.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 631.354.23

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-628-629

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НОЖА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ-РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ СОЛОМЫ ЗЕРНУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

В.Н. Маликов, В.М. Середин, Д.И. Лосоногов, С.А. Войнаш

В современных агротехнологиях, при утилизации незерновой части вороха различных сельскохозяйственных культур в зерноуборочных комбайнах осуществляется ее измельчение и разбрасывание по полю специальным агрегатом – измельчителем-разбрасывателем соломы (ИРС). Качество измельчения зависит от состояния рабочих органов ИРС - его ножей, при их износе и затуплении ухудшаются не только агротехнология, но и растут энергозатраты. В работе установлено, что острота лезвия ножа ИРС – δ , обеспечивающая энерго-эффективное резание соломы яровой пшеницы, одновременно зависит от высоты ее исходного слоя – h и высоты его сжатия – $h_{сж}$. Для увеличения долговечности ножа ИРС, с оптимизированной остротой лезвия 100 мкм, без потери производительности и загрузки агрегата, необходимо поддерживать величину коэффициента сжатия исходного слоя соломы – $k_{сж}$ в пределах оптимальных значений 1,02...1,03.

Ключевые слова: нож, зерноуборочный комбайн, измельчитель-разбрасыватель соломы (ИРС), износостойкость энергоэффективность, толщина лезвия, ресурс, упрочнение, процесс резания.

Переработка и утилизация незерновой части вороха различных продовольственных и технических культур в современных технологиях растениеводства, при широком использовании комбайнов и других сельскохозяйственных машин, осуществляется, как правило, их измельчением и разбрасыванием по полю, либо укладкой в валок, для чего в большинстве зерноуборочных комбайнов (ЗК) агрегатирован специальный агрегат – измельчитель-разбрасыватель соломы (ИРС), различных конструкций [1, 2]. При работе ИРС солома, являющаяся основным компонентом незерновой части вороха, измельчается до отрезков длиной 5...15 см, при этом степень измельчения, как и ширина рассеивания, регулируются конструктивно и технологически, в зависимости от положения планки противоножей, ширины захвата жатки ЗК, скорости движения по полю, частоты вращения ротора ИРС и пр. [3].

Поэтому во всех импортных и в большинстве отечественных ЗК, ИРС конструктивно объединены с энергоустановкой машины, отбирая при этом до 20...30 % всей мощности привода для своей эффективной работы [4]. Высокие энергозатраты ИРС зависят не только от его загрузки и свойств соломы, но и от характера взаимодействия его рабочих органов - ножей, с измельчаемым материалом. Основным механизмом разрушения соломы в ИРС является ее разрезание ножами, которые в ходе естественных процессов затупляются, что влияет на качество измельчения, периодичность их замены долговечность.

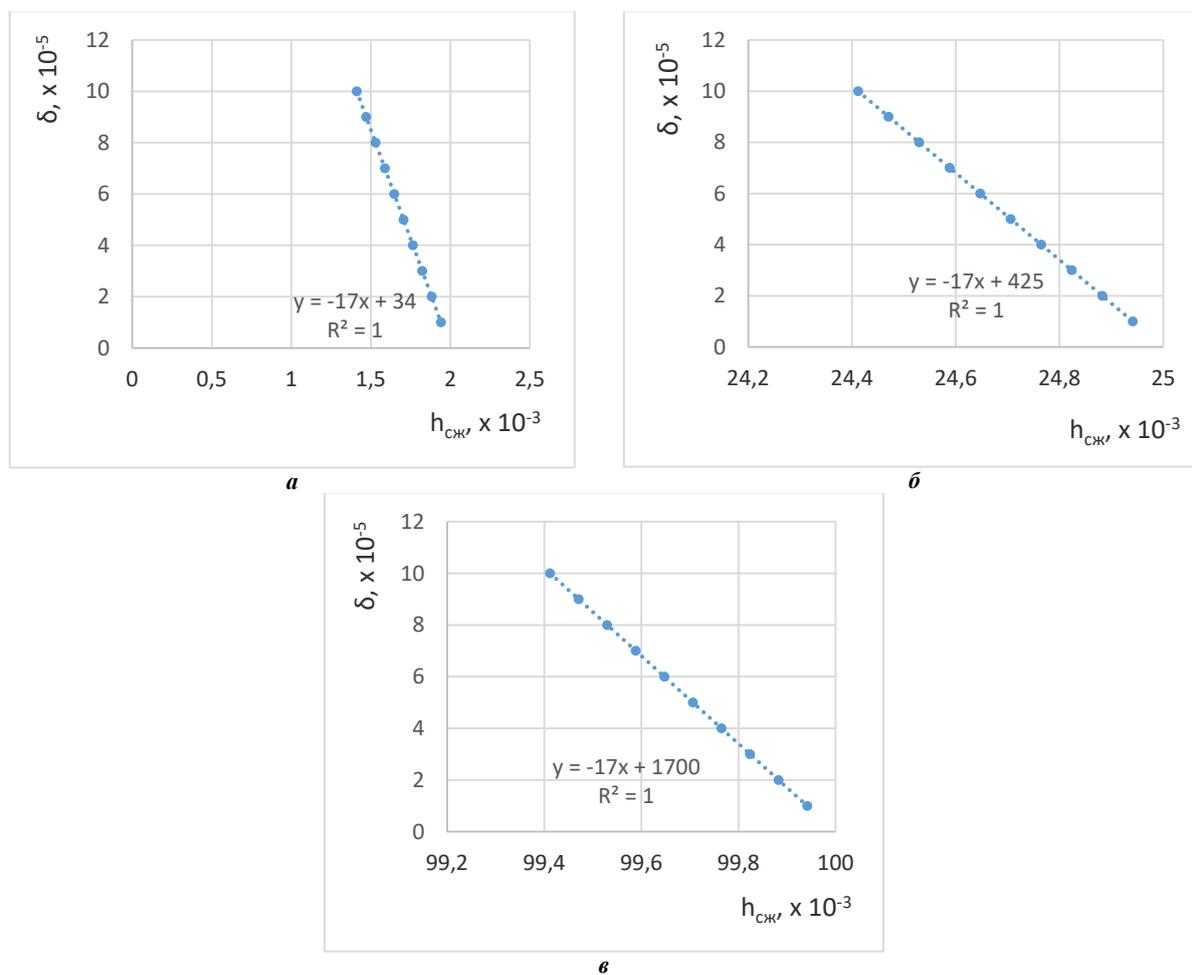
Из литературы и опыта эксплуатации ИРС на ЗК ведущих отечественных (Енисей, Acros, Vector) и зарубежных (John Deere, Claas) марок, широко применяемых в АПК Алтайского края, известно, что замену ножей ИРС вследствие их повышенного износа рекомендуется производить при наработке 60...80 га/нож, а при их затуплении этот дефектовочный показатель оказывается на порядок меньше 4,0...5,5 га/нож [5].

Цель настоящей работы – исследовать процесс резания соломы ножом ИРС, определить зависимость толщины (остроты) его лезвия от высоты сжимаемого слоя, рекомендовать оптимальные значения коэффициента сжатия и комплекс конструктивно-технологических мероприятий для повышения долговечности ножей ИРС.

Экспериментальная часть. Экспериментально, затупление лезвия ножей (износ кромки) при их заданной, нормированной остроте в 100 мкм, и при фиксированной регулировке расположения щитков ИРС, а также при заданной исходной высоте разрезаемого слоя h , исследовали для 14РС ЗК семейства Acros различных модификаций (530, 550/585, 560 и др.), эксплуатируемых в степной зоне Алтайского края, при проведении ими уборочной кампании летом-осенью 2021 и 2022 гг. (прямое комбайнирование озимой и/или яровой пшеницы).

В качестве основного разрезаемого материала для расчетов примем солому яровой пшеницы со следующими свойствами: $\tau = 26$ МПа; $\sigma = 290$ МПа.

Результаты расчетов оптимальной толщины режущей кромки ножа ИРС от высоты сжатия и соответствующие количественные зависимости, полученные их аппроксимацией по методу наименьших квадратов (МНК), для принятых значений исходной толщины слоя h , полученные в Excel 2013, приведены на рис.1.



Зависимость толщины лезвия ножа от высоты сжимаемого слоя, для различных h : а – 2 мм; б – 25 мм; в – 100 мм

Как следует из данных, приведенных на рис.1, толщина (острота) лезвия ножа ИРС оказывается очень чувствительной к высоте сжатия, например, при самой обычной, четвертной загрузке ИРС ($h = 25$ мм) минимальные энергозатраты обеспечиваются в диапазоне $h_{сж}$ от 24 до 25 мм, т.е., например, при толщине заточки ножа в 100 мкм, коэффициент сжатия исходного слоя составит величину 1,02.

Из технологических соображений и существующей унифицированной конструкции ножа ИРС ЗК, наиболее просто обеспечивать толщину их лезвия в 100 мкм. Проведенные расчеты показали, что энергоэффективное резание ножом 2 мм произойдет при $h_{сж} \sim 1,4$ мм, а для слоя в 100 мм - при $h_{сж} \sim 99$ мм. То есть величина коэффициента сжатия ($k_{сж}$) исходного 2 мм слоя составит $\sim 1,3$ раза, а для 100 мм слоя – только $\sim 1,03$ (!).

Таким образом, только регулируя величину потока измельчаемого материала через ИРС (установка профилированной пластины, приоткрытие выходного щитка), удастся уменьшить величину затупления его ножей (увеличить ресурс) до 2,5 раз, за счет изменения величины коэффициента сжатия, исходного слоя до оптимального значения 1,02...1,03.

Выводы. Острота лезвия ножа ИРС - δ , обеспечивающая энергоэффективное резание соломы яровой пшеницы, одновременно зависит от высоты ее исходного слоя h и высоты его сжатия $h_{сж}$. Технологически обоснованной, оптимизированной и нормированной величиной δ является 100 мкм. Для увеличения долговечности ножа ИРС, с острой лезвия 100 мкм, без потери производительности и загрузки агрегата, необходимо поддерживать величину коэффициента сжатия исходного слоя соломы $k_{сж}$ в пределах оптимальных значений 1,02...1,03. Это реализуется путем установки профилированной пластины на внутренней поверхности выходного щитка ИРС, повторяющего округлую форму днища и уменьшающего свободный объем корпуса на 10...15 %, а также регулировкой (приоткрытием) выходного щитка.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках реализации Программы развития Алтайского государственного университета на 2021-2030 годы в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030», проект «Повышение износостойкости рабочих режущих органов сельскохозяйственных машин индукционной наплавкой модифицированных твердых сплавов».

Список литературы

1. Ловчиков А.П., Ловчиков В.П., Поздеев Е.А. Агротехническая оценка работы измельчителей-разбрасывателей соломы комбайнов при уборке зерновых культур прямым комбайнированием // Известия Оренбургского ГАУ. 2016. № 2 (58). С. 55-57.
2. Ягельский М.Ю., Родимцев М.Ю. Тенденции развития и классификация соломоизмельчителей разбрасывателей современных зерноуборочных комбайнов // Вестник Орловского ГАУ. 2016. № 3 (60). С. 73-86.
3. Вендин С.В., Булавин С.А., Саенко Ю.В. Обоснование частоты вращения ножей дробилки пророщенного зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. №4. С. 9-12.
4. Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н., Вертий А.А., Корчагина Е.Е. Теоретическое обоснование затрат мощности на измельчение стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами. // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. №1 (13). С. 23-33.
5. Выставкин С.Б., Федоренко И.Я., Ишков А.В. Моделирование динамических параметров элементов ротора измельчителя-разбрасывателя соломы // Сборник материалов XVIII-ой Международной научно-практической конференции «Аграрная наука - сельскому хозяйству», приуроченной к 80-летию Алтайского ГАУ: в 2 кн. Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2023. Кн. 1. С. 117-119.

Маликов Владимир Николаевич, канд. техн. наук, доцент, osys11@gmail.com, Россия, Барнаул, Алтайский государственный университет,

Середин Вадим Максимович, студент, vseregin249@gmail.com, Россия, Барнаул, Алтайский государственный университет,

Лосоногов Дмитрий Игоревич, студент, thegamerone2@gmail.com, Россия, Барнаул, Алтайский государственный университет,

Войнаш Сергей Александрович, младший научный сотрудник, sergey.voi@mail.ru, Россия, Рубцовск, Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

IMPROVING THE DURABILITY OF THE BLADE OF THE SHREDDER-SPREADER OF THE STRAW OF THE COMBINE HARVESTER

V.N. Malikov, V.M. Seredin, D.I. Losonogov, S.A. Voinash

In modern agricultural technologies, when disposing of the non-grain part of a pile of various crops in combine harvesters, it is crushed and scattered over the field by a special unit – a shredder-a straw spreader (SSS). The quality of grinding depends on the condition of the working organs of the SSS – its knives, when they are worn out and blunted, not only agricultural technology deteriorates, but also energy consumption increases. It was found that the sharpness of the blade of the knife SSS – δ , which provides energy-efficient cutting of spring wheat straw, simultaneously depends on the height of its initial layer – h and the height of its compression – h_c . To increase the durability of the SSS knife, with an optimized blade sharpness of 100 microns, without loss of productivity and loading of the unit, it is necessary to maintain the compression ratio of the initial straw layer – CSF within the optimal values of 1.02...1.03.

Key words: knife, combine harvester, shredder-straw spreader (SSS), wear resistance, energy efficiency, blade thickness, resource, hardening, cutting process.

Malikov Vladimir Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, osys11@gmail.com, Russia, Barnaul, Altai State University,

Seregin Vadim Maksimovich, student, vseregin249@gmail.com, Russia, Barnaul, Altai State University,

Losonogov Dmitry Igorevich, student, thegamerone2@gmail.com, Russia, Barnaul, Altai State University,

Voinash Sergey Alexandrovich, junior researcher, sergey.voi@mail.ru, Russia, Rubtsovsk, Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

<i>В.С. Сальников, Г.В. Шадский, О.А. Ерзин</i> Техническое решение отрезного реза с управляемым передним углом	3
--	---

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>А.К. Гришко, Чан Минь Хай, Н.К. Юрков</i> Структурно-параметрический синтез беспилотных систем в условиях неопределенности на основе статистического анализа экспериментальных данных	7
<i>Е.В. Егоров</i> Статический анализ методов инфицирования файлов PE-формата операционных систем WINDOWS	12
<i>М.А. Синелюбов</i> Анализ процессов коррозии металлических конструкций	18
<i>Ю.А. Леонов, Р.А. Филиппов, И.И. Живодовский</i> Использование методов обработки естественного языка в формировании рейтинговой системы высших учебных заведений РФ	20
<i>Д.С. Положенцев</i> Исследование системы управления инфранизкой угловой скоростью с компенсацией погрешности вносимой механической передачей	28
<i>А.Г. Исаев</i> Процессы возбуждения вибрации и шума при ручной абразивной обработке сварных соединений	32
<i>Е.В. Ляпунова</i> Исследование и выбор нейронной сети для определения качества продукции	36
<i>В.Р. Гапонов, Е.В. Ляпунова</i> Технологии искусственного интеллекта в современном мире	41
<i>С.Н. Курков, М.С. Воротилин, Д.В. Моргунов, В.М. Чайковский</i> Модель определения вероятностей состояний и времени функционирования боевого охранения автоколонны при нападении диверсионно-разведывательной группы	45
<i>А.И. Сидоров, Д.Е. Новиков, М.С. Воротилин, А.Н. Павлюченко, А.С. Ишков</i> Методика определения массы активной части заряда взрывчатого вещества осколочного заряда направленного действия	50
<i>Ф.А. Савченко, А.С. Голенко, М.С. Воротилин, А.С. Ишков</i> Один из подходов к оценке теплового воздействия термобарических боевых частей реактивных штурмовых гранат и реактивных пехотных огнеметов	54
<i>Ф.А. Савченко, А.С. Голенко, М.С. Воротилин, О.Г. Земцова, А.Г. Елистратова</i> Один из подходов к оценке эффективности осколочно-зажигательного поражения топливонасыщенных объектов реактивными штурмовыми гранатами	58
<i>Д.В. Желонкин, Е.И. Минаков, А.Ю. Тычков</i> Анализ демаскирующих признаков бронетанковых целей в радиолокационном диапазоне	64
<i>Д.В. Бакланов, Е.И. Минаков, А.С. Ишков</i> Математическая модель расчета коэффициента интенсивности напряжения в композитной гильзе при образовании трещины в области контакта материалов	68
<i>Е.А. Пафилов, Е.И. Минаков, Д.В. Желонкин, А.С. Ишков, С.В. Бочкарев</i> Методика расчета боевой эффективности ГСН	73
<i>А.В. Пыхтункин, Е.И. Минаков, А.С. Ишков, Е.Б. Серeda</i> Анализ методов построения радиолокационного изображения с синтезированной апертурой	75
<i>Е.И. Минаков, С.А. Куканов, П.С. Суздальцев, В.М. Чайковский</i> Система автоматического управления беспилотным летательным аппаратом	78

<i>М.В. Заморёнов, Н.И. Чаленков, В.Я. Копп</i> Моделирование системы с заменой элемента при её контроле	83
<i>Ю.А. Леонов, А.А. Мартыненко, Л.Б. Филиппова, И.И. Живодовский</i> Исследование рынка жилья российской федерации с использованием методов добычи знаний	87
<i>С.И. Цехош, Б.В. Журавский</i> Применение компьютерных технологий при подготовке будущих специалистов инженерных профессий и в инженерной деятельности	94
<i>А.Ю. Кагазежев, Р.С. Фатуллаев</i> Анализ существующих подходов к определению межремонтных сроков МКД в регионах РФ	97
<i>О.Н. Апанасюк, А.М. Скоробогатов, Т.А. Буланцева</i> Опыт создания базы данных репозитория архивных документов по преодолению последствий аварии на Чернобыльской АЭС в Тульской области в 1986–1991 гг	99
<i>С.И. Носков, Е.С. Попов</i> Подход к построению функции Леонтьева с нелинейными предикторами	105
<i>В.В. Новиков, Т.П. Бажина, А.Е. Литвинов, О.В. Якунькина</i> Возможность информатизации «человеческого фактора»	108
<i>В.В. Новиков, Т.П. Бажина, А.Е. Литвинов, О.В. Якунькина</i> Проблематика определения и цифровизации человеческого фактора в охране труда на предприятии	113
<i>В.В. Новиков, Т.П. Бажина, А.Е. Литвинов, О.В. Якунькина</i> Психо-физиологические факторы человека — оператора в системе человек-машина-среда при построении концептуальной модели человека-оператора и последующей цифровой трансформацией	117
<i>Р.А. Ситков, С.И. Богомолов, В.Н. Щельников</i> Методика определения приоритетов в текущем ремонте объектов наземной космической инфраструктуры	122
<i>А.О. Гюллинг, Н.В. Воронцова</i> Визуализация алгоритма Дейкстры	127
<i>А.С. Иванов, И.Л. Шкарупа, И.К. Устинов</i> Лунная энергетика	133
<i>С.В. Шабунин</i> Исследование влияния температуры окружающей среды на прогнозирование выработки фотоэлектрической установки	135
<i>А.А. Бурлаков, В.С. Скрябин, Е.В. Комаров, В.А. Питенко, А.Я. Моргунов</i> Функциональная структура системы информационной поддержки процесса планирования	139
<i>А.А. Бурлаков, В.С. Скрябин, Е.В. Комаров, В.А. Питенко, А.И. Муравьев</i> Формальная модель системы информационной поддержки процесса планирования	142
<i>В.В. Птицын</i> Искусственный интеллект, технологические подготовка и обеспечение производства	146
<i>Д.Ф. Филиппов</i> Расчет времени реакции артиллерийского выстрела в таре на несанкционированный нагрев	148
<i>О.А. Субботенко, Е.А. Сазонова, В.М. Юдицкий</i> Применение интеллект-карт в информационно-аналитической деятельности: развитие, технологии, интеграция нового программного продукта	152
<i>В.В. Николаев</i> Модель обмена информационными ресурсами в едином информационном пространстве специального назначения	158
<i>Т.Х. Бидов, А.С. Зиновкин, А.Р. Жолтиков, Н.В. Макаев</i> Системный анализ способов повышения прочности строительных конструкций возводимых при помощи 3D-принтеров	162

<i>А.Ю. Бородащенко, Е.А. Коленкин, Е.А. Сазонова</i> Разработка алгоритма выявления значимых событий дня из потока новостей	167
<i>А.А. Липидус, Т.Х. Бидов, А.О. Хубаев</i> Исследование организационно-технических решений при проведении капитального ремонта многоквартирных жилых домов	172
<i>А.В. Боговик, Д.М. Сафиулов</i> Методологический подход к формированию архитектуры системы мониторинга технического состояния техники связи	176
<i>М.С. Бодякин, С.П. Соколовский</i> Модель функционирования, постановка задачи по определению оптимальных значений параметров службы DNS	182
<i>Н.Г. Курбанов, Н. Курбанов, А.В. Горюнова, Е.В. Сокорева, А.А. Тихонов</i> Применение аналитики данных на базе VI-платформ при управлении проектами строительства	187
<i>А.Г. Никольский, О.В. Виштак, Г.В. Очкур, Н.М. Виштак</i> Искусственный интеллект как инструмент изучения программирования	191
<i>М.И. Калинина, Ю.В. Соловьев, П.Р. Медведев, А.А. Осыко</i> Прогнозирование технического состояния вычислительного комплекса на основе модели процесса «гибели и размножения»	197
<i>А.В. Бутрин, С.В. Феофилов</i> Программное управление нелинейным объектом с помощью нейроэмуляции системы с ПИД-регулятором	201
<i>В.В. Птицын</i> К вопросу терминологии в машиностроении	206
<i>А.П. Зверев, А.В. Баринов</i> Проверка метода возгорания торфяников на основе критерия Дарбина – Уотсена	209
<i>А.С. Иванов, Г.Э. Лазаренко, И.Л. Шкарупа, И.К. Устинов</i> Космический атомный парус	213
<i>А.В. Милашевский</i> Выбор и обоснование показателей оценки надежности организационно-технических систем связи специального назначения	219
<i>А.С. Белов, М.М. Добрышин Д.Е. Шугуров</i> Методика прогнозирования и оценки эксплуатационных характеристик программных средств защиты от компьютерных атак в течение заданного времени эксплуатации	225
<i>С.Н. Орловский, А.И. Карнаухов, С.А. Войнаш</i> Влияние социально-психологических факторов транспортного процесса на защищённость водителя от травм и дорожных происшествий	230
<i>О.В. Есиков, А.И. Ковинько</i> Рекомендации по практическому использованию математических моделей и методов построения процессов хранения и обработки информации в учебно-тренировочных системах	232
<i>Д.В. Комолов, А.А. Горшков</i> Улучшение информационных характеристик сообщений при обработке информации методом ХЕШ-кодирования	235
<i>С.А. Курбатский</i> Математическая модель измерения угла места низколетящей цели в РЛС	239
<i>С.Л. Горобченко, Д.А. Ковалев, С.А. Войнаш, Г.К. Парфенопуло, Р.И. Кочубей</i> Современная телефония - от телефонисток к искусственному интеллекту	242
<i>И.А. Ростовцев</i> Выбор типа сложного сигнала для бортовой РЛС летательного аппарата	250
<i>Д.Е. Шугуров, М.М. Добрышин, А.А. Горшков</i> Алгоритм многофакторной аутентификации при удаленном доступе к информационным ресурсам	253

<i>М.М. Добрышин</i> Концептуальная модель оценки качества предоставления услуг связи в условиях компьютерных атак	263
<i>А.В. Плахов, А.А. Корнилов, К.А. Гришин, К.А. Шумов</i> Методы расчета углов поворота антенно-фидерного устройства земной станции спутниковой связи	270
<i>С.Л. Горобченко, Д.А. Ковалев, С.А. Войнаш, С.А. Мешков, Р.И. Кочубей</i> Современные подходы к разработке сервисов сайта арматурной компании	278
<i>А.А. Самохвалов, Е.В. Фатьянова</i> Некоторые существующие системы передачи данных	287
<i>А.А. Самохвалов, Н.Н. Зайкин</i> О некоторых угрозах безопасности программного обеспечения военной техники	290

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

<i>А.И. Гасанов</i> Компьютерное моделирование процесса выдавливания	294
<i>Ю.С. Галкин</i> Анализ сложного комбинированного процесса компьютерным моделированием	296
<i>С.С. Яковлев, В.Д. Кухарь, А.Е. Лазаренко</i> Построение вторичных математических моделей процесса локального формирования рифлей на внутренней поверхности оболочек	299
<i>Д.И. Кондаков</i> Отбортовка как один из методов листовой штамповки и компьютерное моделирование процесса	302
<i>Н.А. Усенко</i> Использование сочетания силового и кинематического возбуждения колебаний в вибротранспортных и вибротехнологических системах с синфазными гармоническими колебаниями	304
<i>Я.В. Грибачев</i> Анализ процесса рельефной формовки плоской листовой заготовки	308
<i>П.В. Пугаев</i> Комплексное компьютерное моделирование объемной штамповки детали с фланцем	310
<i>Г.А. Вобликов</i> Анализ температур при пластическом формоизменении листового металла	312
<i>С.С. Яковлев, Ю.С. Галкин, Я.В. Грибачев</i> Анализ программного обеспечения для компьютерного моделирования процессов обработки металлов давлением	314
<i>А.Н. Мальшев</i> Разработка верхнеграничной модели операции вытяжки в конической матрице низких квадратных коробок из трансверсально-изотропного материала	317

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<i>В.А. Зайцев, О.Г. Земцова, А. Г. Елистратова, Е.И. Минаков, Р.П. Лукьяновец</i> К вопросу оценки энергоэффективности современных систем естественного освещения	320
<i>И.Ф. Байбииков, А.В. Стариков, В.Н. Козловский, С.Л. Лисин</i> Алгоритм работы цифрового регулятора быстродействующего следящего электропривода с синхронным исполнительным двигателем	324
<i>Д.Ю. Шакиров, Т.Х. Мухаметгалеев</i> Моделирование пассивно-адаптивного фильтра высших гармоник в системе частотно-регулируемого электропривода	331
<i>О.В. Архипова, В.З. Ковалев, Р.В. Сайфуллин</i> Современные методы и алгоритмы идентификации дефектов активной части силовых трансформаторов	335

<i>К.М. Чубаров, И.А. Косорлуков, А.В. Стариков, В.Н. Козловский</i> Система управления погружным электроцентробежным насосом с вычислителем динамического уровня жидкости	338
<i>А.В. Фролов, П.А. Овчаренко, А.В. Васильев</i> Особенности работы однофазных выпрямителей с ёмкостным фильтром	345
<i>А.Г. Грищенко, К.М. Сидоров, Б.Н. Сидоров, В.Н. Козловский</i> Экспериментальная апробация совмещенной топологии тягового инвертора и устройства ускоренного заряда	353
<i>П.Н. Трофимович</i> Разработка алгоритма программы контроля нагрузки по трём системам энергоснабжения гибридного автономного электротехнического комплекса с использованием возобновляемых источников энергии	358
<i>А.И. Феценко, К.М. Сидоров, А.С. Саксонов</i> Подбор системы электростартерного пуска и оценка ее пригодности для двигателя внутреннего сгорания	362
<i>Н.А. Малёв, М.Р. Хаметханова</i> Сравнительный анализ качества функционирования электропривода с градиентным алгоритмом робастного управления и последовательной коррекцией	365
<i>А.Э. Соловьев, В.А. Смирнов</i> Особенности векторного управления трехступенной электрической машиной с радиально намагниченным ротором	371
<i>В.А. Смирнов, А.Э. Соловьев</i> Влияние способа управления коммутацией бесколлекторных двигателей постоянного тока на их характеристики	375

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

<i>В.Я. Фролов, Ю. Бенслиман</i> Моделирование и нелинейное управление неголономным автомобилеподобным мобильным роботом, отслеживающим траекторию	381
<i>Ю.Н. Кожубаев, Е.Н. Овчинникова, М.А. Горелик, Н.А. Нуштаев</i> Модель управления и прогнозирования городской безопасности	389
<i>Е.А. Пелих</i> Оценка эффективности автоматизированной системы управления поставками комплектующих для авиационной техники	396
<i>А.В. Смольянинов, В.В. Ветохин, О.В. Собенина</i> Система автоматического управления щековой дробилкой	400
<i>Т.А. Енютина, Л.В. Кулагина, С.Г. Марченкова, М.М. Гафуров</i> Предохранительное устройство для защиты топливных трубопроводов	408
<i>А.О. Хубаев, Н.В. Макаев, Н.В. Шевченко</i> Повышение эффективности производства геодезических работ с применением беспилотных летательных аппаратов	412
<i>А.В. Моржов</i> Метод исследования чувствительности вынужденных колебаний в релейной системе с кусочно-линейным объектом управления	419

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

<i>А.А. Громов, М.С. Воротилин, Ю.В. Чебурков, А.Н. Павлюченко, А.С. Ишков</i> Модель оценки конструкции ствола стрелкового оружия с учетом температуры и напряжений с термомеханической связью в задаче внутренней баллистики	426
<i>В.Б. Масыгин, С.Б. Скобелев, Д.А. Ерофеев, Е.А. Ерофеев</i> Исследование свойств матричных композитных материалов на основе полимерных лакокрасочных составляющих	434

<i>О.В. Сулина, И.К. Устинов</i> Проектирование литниковой системы для литья под давлением колесных опор	440
<i>В.Б. Масыгин, С.Б. Скобелев, Д.А. Ерофеев, Е.А. Ерофеев</i> Определение рациональных режимов механической обработки матричных композитных материалов на основе полимерных лакокрасочных составляющих	446
<i>Нгуен Ван Линь</i> Повышение технологической надежности роботизированной сборки цилиндрических нежестких деталей на основе разработки алгоритма управления роботом	451
<i>А.В. Королев, А.А. Королев, В.В. Жалнин</i> Определение площади поверхности смазочных канавок при процессе формирования частично регулярного микрорельефа на цилиндрических поверхностях	460
<i>А.Н. Шмойлов, А.Л. Золкин</i> Совершенствование технической диагностики электрических машин железнодорожного подвижного состава	464
<i>И.В. Ворначева, С.А. Войнаш, В.А. Соколова, А.А. Ореховская, Р.Р. Загидуллин</i> Изучение влияния термоциклической обработки на структуру и свойства псевдо- α -титановых сплавов	467
<i>И.М. Кулешов, Д.С. Макашин</i> Анализ особенностей малогабаритных фрезерных станков с ЧПУ, поиск их применения на производстве	473
<i>Н.С. Карцев, И.М. Яропольский, В.А. Смирнов</i> Вибрационный стенд	478

МАШИНЫ, АГРЕГАТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

<i>С.С. Бусаров, И.С. Бусаров, Р.Э. Кобыльский</i> Современные конструкции самодействующих клапанов машин объёмного принципа действия	482
<i>С.С. Бусаров, А.В. Недовенчаный, И.С. Бусаров, Р.Э. Кобыльский</i> Условия работы клапанов поршневых компрессоров	486
<i>С.С. Бусаров, А.В. Недовенчаный, А.А. Капелюховская, И.В. Веймер, И.А. Рябов, А.Е. Гаглоева</i> Возможность создания компактных холодильных машин на базе тихоходных компрессоров	490
<i>Е.Н. Хозина, Л. Альвари, П.А. Королев, О.С. Журавлева</i> Циклограммирование машин-автоматов методами сетевого планирования и управления	492
<i>С.И. Богомоллов</i> Использование тепловых насосов для объектов наземной инфраструктуры районов крайнего севера	497
<i>М.А.С. Махмуд, Ю.В. Родионов</i> Аналитическая математическая модель определения быстроты действия жидкостнокольцевых вакуумных насосов	500
<i>И.В. Карнаухов, А.С. Лунев, Е.А. Сорокин, А.А. Никитин, И.В. Андрейчиков</i> Метод расчёта температурного режима работы пятна контакта при гидростатическом давлении	504
<i>А.С. Лунев, И.В. Карнаухов, Е.А. Сорокин, В.А. Ионова, А.С. Каверзина</i> Влияние нестационарных процессов в объёмных насосах на величину гидравлического удара	507
<i>Р.Э. Кобыльский</i> Самодействующий кольцевой клапан с жидкостным ограничителем подъема и методика его расчета	512

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И КОМПЛЕКСЫ

<i>Н.А. Ефимов, А.С. Тычков</i> Совершенствование буксовых узлов локомотивов	516
<i>Е.А. Тарасов</i> Об автотехнической экспертизе обстоятельств ДТП	519

<i>Э.А. Оганян</i> Анализ математических моделей электрических силовых установок автотранспортных средств	523
<i>А.В. Кречко, В.М. Лисовенко, М.С. Алтунина, В.В. Зубов</i> Повышение эффективности работы щеточного устройства подметально-уборочной машины	527
<i>А.В. Кузнецов, Н.М. Илларионова, В.П. Кузнецов, Е.Г. Воронцова</i> Круглогодичное использование приспособленной техники для тушения пожаров и аварийно-спасательных работ	531
<i>В.А. Жулай, В.Л. Тюнин, А.Н. Щенко</i> Влияние технических характеристик бульдозера на его производительность	534
<i>А.И. Юхин, А.Н. Шафорост, В.Ю. Анцев, А.С. Толоконников, А.Д. Горынин</i> Оптимизация транспортно-логистических процессов транспортной компании	538
<i>С.Ш. Саая, С.Ч. Монгуш, А.А. Чылбак, С.А. Войнаш, А.В. Тепноев</i> Исследование динамических качеств системы подрессоривания лесохозяйственного трактора	546

МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>К.Г. Пугин, Н.К. Иванов, И.Э. Шаякбаров</i> Преимущества и недостатки металлических и композиционных валов, применяемых для передачи крутящего момента в транспортно-технологических машинах и оборудовании	549
<i>Ф.В. Камардин</i> Повышение эффективности эксплуатации строительно-дорожных машин	552
<i>Д.Ю. Ершов, И.Н. Лукьяненко, Е.Э. Аман</i> Резонансные режимы движения электромеханических систем при колебаниях основания	554
<i>Ф.В. Камардин, С.А. Мотевич</i> Анализ факторов, влияющих на комплектацию парка коммунальных машин	558
<i>Л.А. Сладкова, Н.Н. Воронин, В.В. Фокин</i> Ненормативные факторы эксплуатации как причина разрушения опорно-поворотных устройств стреловых самоходных кранов	561

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

<i>А.М. Ковалева, А.И. Хаймович, Е.А. Колеганова</i> Разработка методики построения иерархии компетенций инженера-технолога на базе метода развертывания функций качества	566
<i>Т.А. Новикова, Е.В. Ляпунцева</i> Эволюция подходов к управлению качеством продукции машиностроения	571
<i>И.С. Борисов, В.А. Васильев</i> Совершенствование системы стандартизации в области подтверждения соответствия самоходных машин и прицепов к ним	575
<i>А.Н. Шмелёва, М.А. Назаренко</i> Квалиметрическая оценка весомости цифровых компетенций персонала, задействованного при выполнении НИР	579
<i>С.Н. Ларин</i> Формирование организационно-технических структур в сложных производственных системах полного цикла	584
<i>Д.О. Доронин, Н.М. Куприков, Д.Д. Ноговицын</i> Нормативный тезаурус для метрологического обеспечения производства сырья из мамонтовой кости	589
<i>И.Д. Сидельников</i> Оптимизация структуры вертикально интегрированных отраслевых компаниях по принципу ресурсосбережения	591
<i>В.Г. Мосин, В.Н. Козловский</i> Повышение производительности регрессионных моделей при оценке качества потребления электронного контента	593

<i>В.Г. Мосин, В.Н. Козловский</i> Понижение размерности данных методом SVD на примере данных о потреблении контента	599
<i>В.Г. Мосин, В.Н. Козловский</i> Анализ качества электронного контента. Разбиение данных о потреблении контента на оптимальное число кластеров при помощи алгоритма KMEANS	604
<i>В.Г. Мосин, В.Н. Козловский</i> Сравнительный анализ двух метрик кластеризации данных о потреблении контента	609
<i>А.С. Клентак, В.Н. Козловский, А.В. Гусев</i> Первичные аспекты разработки методологии прогнозирования востребованного потребителями качества продукции машиностроения при выходе компании производителя на новые конкурентные рынки	615
<i>Т.Э. Хаев</i> Совершенствование системы организационно-управленческих решений при определении технического состояния несущих конструкций здания	621
<i>М.Н. Фетисов, С.А. Васин, Н.Н. Трушин</i> Ранжирование проектов в портфеле заказов авиастроительного предприятия на основе квалитметрической оценки	623
<i>В.Н. Маликов, В.М. Середин, Д.И. Лосоногов, С.А. Войнаш</i> Повышение долговечности ножа измельчителя-разбрасывателя соломы зерноуборочного комбайна	628

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 2

Редактор О.И. Борискин

Компьютерная правка и верстка – Б.С. Яковлев

Учредитель:

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
300012, г. Тула, просп. Ленина, 92

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97

Подписано в печать 25.03.24. Дата выхода в свет 29.03.24

Формат бумаги 70×100 1/16. Бумага офсетная

Усл.-печ. л. 103,84

Тираж 500 экз. Заказ

Цена свободная

Адрес редакции и издателя:

300012, г. Тула, просп. Ленина, 95

Отпечатано в Издательстве ТулГУ

300012, г. Тула, просп. Ленина, 95