

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ**

**№2 2022**

**Направления:**

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ  
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ  
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
(физико-математические науки)**

**Казань  
2022**

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №2 2022г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2022. – 128 с.

**ISSN 2079-5920**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте [www.ntvprt.ru](http://www.ntvprt.ru), и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

*Главный редактор Р.Х. Шагимуллин*

*Редакционная коллегия*

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;  
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;  
В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; М.В. Шулаев – д.т.н., проф.*

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**ISSN 2079-5920**

**© Рашин Сайнс, 2022 г.**

## СОДЕРЖАНИЕ

**05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

<i>Н.С. Алексеев</i> ГЕНЕРАТОР ПАСПОРТОВ ВАРИАНТОВ	7
<i>В.В. Андреев, В.Е. Гай, Н.П. Тарасова, А.А. Самойлов, Е.Д. Ермоленко, А.А. Сатаев</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ «ТЕХНИЧЕСКИЙ АНТИПЛАГИАТ» ДЛЯ ВКР БАКАЛАВРОВ	13
<i>А.П. Буйносов, А.Т. Шарпов, А.А. Козлова</i> РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО И ИСПОЛЪЗУЕМОГО ДЕМПФЕРА ЭЛЕКТРОВОЗА	16
<i>В.В. Воронин</i> ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРОВЕРОК	20
<i>И.Б. Гинзбург</i> АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛОКАЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ НА СТОРОНЕ КЛИЕНТА	24
<i>Д.С. Горбатенко</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА УЧАСТКАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТОВ ТОРГОВЛИ	27
<i>Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков, В.А. Бузин, В.С. Петров, В.А. Ракитин</i> АНАЛИЗ ОТКАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ	30
<i>Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков, А.А. Панфилов, В.С. Петров, В. А. Ракитин</i> ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА УРОВЕНЬ ЗАРЯЖЕННОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ	34
<i>Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков, В.С. Петров, В.П. Назаров, В. А. Ракитин</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАРЯДА АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ	38
<i>А.А. Кораблева, А.С. Полякова, Л.В. Липинский, Н.В. Ковбаса</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЭВОЛЮЦИИ САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ АЛГОРИТМОВ	42
<i>С.А. Манцеров</i> ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА СИНТЕЗА ЭКОБЕЗОПАСНЫХ СИСТЕМ	48
<i>Т.Е. Тлегенова, Н.Н. Манаева</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСВОЕНИЯ МАССОВОГО ОТКРЫТОГО ОНЛАЙН-КУРСА	52
<i>Е.Г. Царькова</i> ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ОХРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	56
<i>Л.О. Чернышев, Ю.Н. Матвеев</i> КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И АНАЛИЗА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ МЕСТНОСТИ	60
<i>Н.М. Чиганова</i> ВЛИЯНИЕ МЕШАЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ НА ДОВЕРИТЕЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ	64
<i>М.Ю. Шрейдер, А.С. Боровский, А.Д. Тарасов</i> МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ	67
<i>И.А. Щудро, Н.А. Тишина, Н.П. Мошуров, Ю.Д. Фот</i> НЕЙРОСЕТЕВОЙ КЛАССИФИКАТОР КОМПАНИЙ НА ИНФОРМАЦИОННОМ САЙТЕ	70

**05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

<i>А.Г. Горюнов, Б.П. Степанов, Е.А. Суханов</i> ФОРМИРОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ	75
---	----

<i>А.В. Каменев, А.В. Коськин</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИНТЕГРАЦИИ МЕЖВУЗОВСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕК	78
<i>Н.В. Карабонцева, Г.А. Мацур, М.В. Карабонцева, К.А. Вотяков, В.А. Серик, В.В. Мироненко, А.А. Савельева</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ	82
<i>Н.В. Карабонцева, Г.А. Мацур, М.В. Карабонцева, К.А. Вотяков, В.А. Серик, В.В. Мироненко, А.А. Савельева</i> УСТРАНЕНИЕ АДГЕЗИОННОГО ИЗНОСА ЩУПА КИМ ОТ ОКИСНОЙ ПЕЛЕНА АЛЮМИНИЯ	85
<i>А.Х. Тазмеев, А.Г. Николаев, А.Н. Илюхин, Э.Л. Хазиев, Е.В. Зубков</i> МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВНОГО КОПИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН HYPER-V	89
<i>А.Р. Фардеев, Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов</i> ВЫВОД УРАВНЕНИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ И РАБОЧЕГО ОБЪЕМА НАСОСА ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА	93

#### **05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

<i>А.В. Болдырев, С.В. Болдырев, Д.Л. Карелин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ВИХРЕВОМ НАСОСЕ ОТКРЫТОГО ТИПА ПРИ РАЗЛИЧНОМ УГЛЕ НАКЛОНА ВЫХОДНОГО КАНАЛА	97
<i>Е.В. Гусев</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ ЛА	102
<i>Е.В. Спиридонова, Н.А. Гамова, Н.В. Кулиш, Л.А. Суяргулова</i> КЛАССИФИКАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ РАЗРЫВНЫХ СМЕЩЕНИЙ ПЛОСКИХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ТРЕЩИН	106

#### **05.13.19 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

<i>О.М. Баранова, А.Н. Полубарьева, А.А. Соколова, С.В. Таранов</i> АЛГОРИТМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ НА ОСНОВЕ КОДОВ С МАЛОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ПРОВЕРЕК НА ЧЕТНОСТЬ	110
<i>Г. Ряскин, А.Н. Полубарьева, С.В. Таранов</i> МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ КОДОВ С РАЗРЕЖЕННЫМИ МАТРИЦАМИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ	115

<b>АННОТАЦИИ</b>	120
------------------	-----

## THE RELEASE MAINTENANCE

## 05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

<i>N.S. Alekseyev</i> GENERATOR OF PASSPORTS OF VARIANTS	7
<i>V.V. Andreev, V.E. Gay, N.P. Tarasova, A.A. Samoilo, E.D. Ermolenko, A.A. Sataev</i> DEVELOPMENT OF THE SYSTEM «TECHNICAL ANTIPLAGIAT» FOR BACHELOR WORKSHOPS	13
<i>A.P. Buinosov, A.T. Sharapov, A.A. Kozlova</i> CALCULATION OF PARAMETERS OF IMPROVED AND USED ELECTRIC LOCOMOTIVE DAMPER	16
<i>V.V. Voronin</i> FORMALIZATION OF DIAGNOSTIC CHECKS	20
<i>I.B. Ginzburg</i> WEB APPLICATIONS' CLIENT SIDE LOCAL DATA STORAGE POSSIBILITIES' ANALYSIS	24
<i>D.S. Gorbatenko</i> ENSURING TRAFFIC SAFETY ON ROAD NETWORK SECTIONS NEAR TRADE OBJECTS	27
<i>N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov, V.A. Buzin, V.S. Petrov, V.A. Rakitin</i> FAILURE ANALYSIS OF INDIVIDUAL VEHICLES	30
<i>N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov, A.A. Panfilov, V.S. Petrov, V.A. Rakitin</i> THE INFLUENCE OF ELECTRICAL EQUIPMENT POWER ON THE LEVEL OF CHARGE OF CAR BATTERIES	34
<i>N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov, V.S. Petrov, V.P. Nazarov, V.A. Rakitin</i> IMPROVEMENT OF METHODS FOR ENSURING THE CHARGING OF CAR BATTERIES	38
<i>A.A. Korableva, A.S. Polyakova, L.V. Lipinskiy, N.V. Kovbasa</i> INVESTIGATION OF THE COEVOLUTION EFFICIENCY OF SELF-ADJUSTING ALGORITHMS	42
<i>S.A. Mantserov</i> OPTIMIZATION OF AN ALGORITHM FOR SYNTHESIS OF ECO-SAFE SYSTEMS	48
<i>T.E. Tlegenova, N.N. Manaeva</i> DATA MINING FOR PREDICTING THE DEVELOPMENT OF A MASSIVE OPEN ONLINE COURSE	52
<i>E.G. Tsarkova</i> OPTIMAL MANAGEMENT OF SECURITY EQUIPMENT MAINTENANCE	56
<i>L.O. Chernyshev, Yu.N. Matveev</i> COMPUTER SYSTEM FOR VISUALIZATION AND ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF ACCIDENTAL EMISSIONS IN THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL DEVELOPMENT OF THE TERRAIN	60
<i>N.M. Chiganova</i> INFLUENCE OF INTERFERING PARAMETERS ON THE CONFIDENCE ESTIMATION OF RELIABILITY INDICATORS	64
<i>M.Yu. Schryder, A.S. Borovsky, A.D. Tarasov</i> PHYSICAL PROTECTION SYSTEMS EFFECTIVENESS EVALUATION USING THE EASI MODEL	67
<i>I.A. Schudro, N.A. Tishina, N.P. Moshurov, Yu.D. Phot</i> NEURAL NETWORK CLASSIFIER COMPANIES ON THE INFORMATION SITE	70

## 05.13.06 — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

<i>A.G. Goryunov, B.P. Stepanov, E.A. Sukhanov</i> FORMATION OF MANAGEMENT METHODS IN THE ORGANIZATION OF SECURITY SYSTEMS	75
<i>A.V. Kamenev, A.V. Koskin</i> ARCHITECTURE DESIGNING OF THE AUTOMATION SYSTEM OF INTERUNIVERSITY ELECTRONIC LIBRARIES INTEGRATION PROCESSES	78

<i>N.V. Karabontseva, G.A. Matsur, M.V. Karabontseva, K.A. Votyakov, V.A. Serik, V.V. Mironenko, A.A. Savelyeva</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF SENSORS OF COORDINATE-MEASURING EQUIPMENT USED FOR CONTROL OF PARAMETERS OF COMPLEX-PROFILE PARTS	82
<i>N.V. Karabontseva, G.A. Matsur, M.V. Karabontseva, K.A. Votyakov, V.A. Serik, V.V. Mironenko, A.A. Savelyeva</i> ELIMINATION OF ADHESION WEAR OF PROBE OF COORDINATE-MEASURING MACHINE FROM ALUMINIUM OXIDE SHROUD	85
<i>A.Kh. Tazmeev, A.G. Nikolaev, A.N. Iljuhin, E.L. Khaziev, E.V. Zubkov</i> DESIGN TECHNIQUE FOR HYPER-V VIRTUAL MACHINE BACKUP SYSTEM	89
<i>A.R. Fardeev, F.D. Bairamov, B.F. Bairamov</i> DERIVATION OF EQUATIONS DESCRIBING DEPENDENCE OF PRESSURE AND WORKING VOLUME OF WIND-PUMPING UNIT PUMP ON WIND SPEED	93

**05.13.18 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES**

<i>A.V. Boldyrev, S.V. Boldyrev, D.L. Karelin</i> SIMULATION OF THE LIQUID-FLOW IN A SIDE CHANNEL PUMP WITH VARIOUS SLOPE-ANGLES AT THE OUTLET	97
<i>E.V. Gusev</i> SIMULATION OF THE OPERATION PROCESS TO DETERMINE THE OPTIMAL FREQUENCY AND DURATION OF MAINTENANCE OF AIRCRAFT UNITS AND SYSTEMS	102
<i>E.V. Spiridonova, N.A. Gamova, N.V. Kulish, L.A. Suyargulova</i> CLASSIFICATION AND COMPUTER MODELING THE METHOD OF DISCONTINUOUS DISPLACEMENTS PLANE PROBLEMS OF THE THEORY OF CRACKS	106

**05.13.19 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY**

<i>O.M. Baranova, A.N. Polubaryeva, A.A. Sokolova, S.V. Taranov</i> ALGORITHM FOR ENSURING THE INTEGRITY OF INFORMATION WITH THE POSSIBILITY OF DETECTING ALGEBRAIC MANIPULATIONS BASED ON LOW DENSITY PARITY CHECK CODES	110
<i>G. Ryaskin, A.N. Polubaryeva, S.V. Taranov</i> METHOD OF APPLICATION OF CODES WITH SPARSE CHECK MATRICES FOR PROTECTION AGAINST ALGEBRAIC MANIPULATIONS	115

<b>ABSTRACTS</b>	120
------------------	-----

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И  
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (05.13.01)**

05.13.01

**Н.С. Алексеев канд. физ.-мат. наук**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
кафедра «Математическая кибернетика»,  
nick.alekseyev@gmail.com

**ГЕНЕРАТОР ПАСПОРТОВ ВАРИАНТОВ**

*В работе рассматривается проблема формирования последовательности вариантов учебных заданий из заранее подготовленных наборов задач определенного типа. Предложены критерии оценки качества последовательности. Показано, что задачу можно свести к генерации последовательности целочисленных векторов – паспортов вариантов. Предложен алгоритм генерации этих паспортов и проведен анализ выполнения критериев.*

Ключевые слова: *вариант, паспорт варианта, целочисленный вектор, группа классов вычетов.*

**Введение**

В сфере образования всегда был актуален вопрос о формировании наборов заданий выдаваемых обучающимся для контроля освоения ими теоретического материала и проверки умения решать практические задачи. Такими наборами заданий являются, например, домашние задания, контрольные, самостоятельные, расчетно-графические работы, тесты, экзаменационные билеты. Традиционные подходы к распределению вариантов заданий между студентами состоит в следующем. Наборы заданий сформированы заранее. Количество вариантов работ может быть разным: 2 – 4 варианта для аудиторных контрольных работ, по количеству студентов в группе для семестровых работ и экзаменов. Студент получает задание либо в зависимости от места рассадки в аудитории, либо в соответствии с номером по списку, либо по методу «тяните билет». При этом часто варианты заданий остаются неизменными в течении многих лет и одинаковыми для разных групп и потоков. Это не способствует качественному контролю знаний студентов.

Конечно, в этой сфере идет автоматизация. Предлагаются различные подходы для формирования индивидуальных заданий за счет генерации случайных значений параметров входящих в условия задач. Предлагается использовать контекстно-свободные грамматики для формирования вопросов. Хороший обзор состояния процесса автоматизации составления тестов и их вариантов дан, например, в [1].

Однако, в некоторых предметных областях параметризовать отдельные задания является затруднительным. В настоящей работе описан алгоритм, позволяющий добиться определенной степени уникальности за счет его формирование из заранее подготовленных преподавателем наборов экземпляров заданий каждого типа.

**Неформальная постановка задачи**

В высшем учебном заведении для потока, состоящего из нескольких групп, читается учебная дисциплина Д. Предполагаем, что дисциплина Д будет преподаваться не один учебный год. В учебном плане предусмотрена семестровая работа по этому предмету. Необходимо уметь формировать индивидуальные варианты заданий по дисциплине Д, обладающие определенной «степенью уникальности». Степень эта должна быть наивысшей в рамках конкретной группы и может снижаться в рамках потока и быть еще меньшей в рамках нескольких потоков (одного курса или потоков нескольких прошлых лет).

Каждый вариант, который предстоит сформировать, представляет из себя набор задач. Количество задач во всех вариантах одинаково. Каждая задача в варианте относится к определенному типу задач. Преподавателем заранее должно быть подготовлено по определенному количеству задач каждого типа. Желательно, чтобы это количество равнялось или превосходило количество студентов в группе. Это обеспечит полную уникальность вариантов заданий в рамках студенческой группы – ни одна задача не будет общей для двух разных вариантов заданий в рамках группы.

### **Математическая постановка задачи**

Будем считать, что каждый вариант  $v$ , который предстоит сформировать представляет из себя упорядоченный набор (вектор) задач  $z_i, i=1, \dots, n$ . Каждое задание имеет определенный тип  $T_i, i=1, \dots, n$ ; ( $n$  – количество задач в каждом варианте).

*Дано  $n$  типов задач  $T_i, i=1, \dots, n$ . Для каждого типа задач задано множество  $t_i$  экземпляров задач  $i$ -го типа:  $t_i = \{z_{i0}, \dots, z_{iN-1}\} \subseteq T_i, i=1, \dots, n$ . ( $N$  – количество экземпляров задач каждого типа).*

*Требуется разработать алгоритм генерации вариантов, т.е. векторов  $v^{(j)} = (z_1^{(j)}, \dots, z_n^{(j)})$ ,  $z_i^{(j)} \in t_i, j=1, 2, \dots$ .*

К генерируемой последовательности вариантов лицо, принимающее решения (ЛПР), может предъявить различные *требования*. Приведем примеры таких требований.

1. «Соседние» варианты  $v^{(i)}$  и  $v^{(i+1)}$  не должны содержать одинаковых экземпляров задач.
2. В каждом из отрезков длиной  $N$  последовательности генерируемых вариантов  $v^{(1)}, \dots, v^{(N)}, v^{(N+1)}, \dots, v^{(2N)}, v^{(2N+1)}, \dots, v^{(3N)}, \dots$

любой экземпляр задачи  $z_{ik}$  должен встречаться ровно один раз. (Это требование является естественным усилением требования 1).

3. Частота появления каждого из экземпляров задач  $z_{ij}, i=1, \dots, n, j=0, \dots, N-1$  в последовательности  $v^{(1)}, \dots, v^{(k)}, \dots$  должна стремиться к одной и той же величине  $k/N$  с ростом  $k$ .

4. При  $k=N^n$  все варианты в последовательности  $v^{(1)}, \dots, v^{(k)}$  должны быть уникальными. Каждый вариант должен отличаться от любого другого хотя бы одной задачей.

5. Не должно быть жесткой корреляции между экземплярами задач в вариантах (всякий раз когда в варианте присутствует экземпляр задачи  $z_{iq}$  в том же варианте присутствует задача  $z_{jp}$ ).

Поставим в соответствие каждой задаче  $z_i^{(j)}$  из варианта  $v^{(j)}$  ее номер  $n_i$  в множестве  $t_i = \{z_{i1}, \dots, z_{iN}\}$ . Тогда каждому варианту  $v^{(j)} = (z_1^{(j)}, \dots, z_n^{(j)})$  будет поставлен в соответствие целочисленный вектор  $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_n^{(j)})$ ,  $j=1, 2, \dots$ . Этот вектор  $x^{(j)}$  будем называть *паспортом варианта  $v^{(j)}$* . При фиксированных множествах  $t_i = \{z_{i0}, \dots, z_{iN-1}\} \subseteq T_i, i=1, \dots, n$  соответствие между вариантами и их паспортами является взаимно однозначным. Таким образом, задача генерации вариантов сводится к задаче генерации целочисленных векторов – паспортов вариантов.

### **Критика традиционных подходов**

Самый простой подход к решению рассматриваемой задачи в терминах паспортов вариантов состоит в генерации ровно  $N$  вариантов с паспортами  $(0, 0, \dots, 0), (1, 1, \dots, 1), \dots, (N-1, N-1, \dots, N-1)$ . Недостатки такого подхода очевидны – каждый студент получает такой же вариант как один из студентов в другой группе того же потока, как другие студенты в параллельном потоке, как студенты, учившиеся семестром или годом раньше и т.д. При этом общее количество различных вариантов равно  $N^n$ . Из них используется крайне незначительное количество. При модельных  $N=4, n=5$  это  $\approx 0,391\%$ , а при реалистичных  $N=25, n=10$  доля используемых вариантов  $\approx 2,62 \times 10^{-11} \%$ .

Другой традиционный подход заключается в использовании датчиков случайных (а, точнее, псевдослучайных) чисел  $\lambda_i, i=1, 2, \dots$  при формировании паспортов вариантов:  $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n), (\lambda_{n+1}, \lambda_{n+2}, \dots, \lambda_{2n}), \dots$ . Такой метод плох тем, что не гарантирует выполнение ни одного из первых четырех перечисленных требований к генерируемой последовательности вариантов. Как известно, все псевдослучайные последовательности имеют определенный



период, который может оказаться кратен числам  $n$  или  $N$  или иметь с ними общие множители, что может привести к низкому качеству формируемых вариантов.

**Математические основы предлагаемых алгоритмов**

Предлагаемые в статье алгоритмы формирования последовательности паспортов вариантов основаны на свойствах аддитивной группы классов вычетов (см., например, [2]).

Рассмотрим группу  $Z_m = \{C_0, C_1, \dots, C_{m-1}\}$  классов вычетов по модулю  $m$ . Каждый из элементов этой группы  $C_i$  представляет собой множество целых чисел, которые при делении на  $m$  дают остаток  $i$ . Операция сложения в этой группе определяется как  $C_i + C_j = C_k$ , где  $i + j = k \pmod m$ . Эта группа изоморфна группе  $G_m = \{0, 1, \dots, m-1\}$  с операцией сложения по модулю  $m$ . Последняя является циклической с порождающим элементом 1:  $\langle 1 \rangle = G_m$ . Кроме того, порождающим для этой группы будет любой элемент множества  $b \in \{2, \dots, m-1\}$ , взаимно простой с числом  $m$ :  $\langle b \rangle = G_m \Leftrightarrow \text{НОД}(b, m) = 1$  [3].

Рассмотрим соответствие между множеством целочисленных векторов  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , с компонентами  $x_i \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$ , и множеством  $n$ -разрядных чисел от 0 до  $N^n - 1$  в  $N$ -ичной записи  $(x_1|x_2|\dots|x_n)_N$ . Очевидно, что это соответствие является взаимно однозначным. Договоримся такое число в  $N$ -ичной записи ассоциировать с паспортом варианта. Таким образом, задача генерации паспортов вариантов эквивалентна задаче перебора целых чисел от 0 до  $N^n - 1$ , представленных в  $N$ -ичной записи.

Очевиден очень простой алгоритм перебора всех чисел от 0 до  $N^n - 1$ : прибавление единицы на каждом шаге к начальному значению 0. Такой алгоритм формирует последовательность паспортов вариантов

$$\begin{aligned} (0|\dots|0|0)_N &= 0_{10}, (0|\dots|0|1)_N = 1_{10}, \dots, (0|\dots|0|N-1)_{NN} = (N-1)_{10}, \\ (0|\dots|1|0)_N &= N_{10}, (0|\dots|1|1)_N = (N+1)_{10}, \dots, (0|\dots|N-1|0)_N = ((N-1) \cdot N)_{10}, \dots \\ &\dots, (N-1|\dots|N-1|N-1)_N = (N^n - 1)_{10}. \end{aligned} \tag{1}$$

Она, конечно, не будет удовлетворять сформулированным требованиям (даже первому – соседние паспорта почти всегда имеют всего одно различие). Однако, незначительная модификация указанного алгоритма позволит получить приемлемый результат.

Как уже отмечалось, множество чисел  $\{0, 1, \dots, m-1\}$  с операцией  $\oplus$  сложения по модулю  $m$  является циклической группой, для которой порождающим элементом является любое число  $b$ , взаимно простое с  $m$ . Поэтому, при  $m = N^n$  все числа последовательности

$$0 \odot b, 1 \odot b, 2 \odot b, \dots, (N^n - 1) \odot b \tag{2}$$

различны и принадлежат множеству  $\{0, 1, \dots, N^n - 1\}$ . Здесь через  $i \odot b$  обозначено выражение  $b \oplus b \oplus \dots \oplus b$  ( $i$  раз).

**Алгоритм**

Из приведенных соображений следует алгоритм генерации последовательности (2) паспортов вариантов.

- 1) выбрать число  $b$  – взаимно простое с числом  $N^n$ ;
- 2) положить  $i=0$ ;  $паспорт_0 = (0|\dots|0|0)_N$ ;
- 3) пока  $i < N^n$  выполнять  $i=i+1$ ;  $паспорт_i = паспорт_{i-1} \oplus b$ .

Если выбрать  $b = 1_{10} = (0|\dots|0|0)_N$ , то получим последовательность (1), которая как мы уже отметили не соответствует предъявляемым требованиям. Таким образом, необходимо уметь выбирать «правильное» значение  $b$ . Ясно, что обеспечить выполнение первого требования (отличие значений всех разрядов соседних ( $i-1$ -го и  $i$ -го) паспортов) можно выбрав число  $b$  имеющим в  $N$ -ичной записи все ненулевые разряды. Результаты компьютерного моделирования показывают, что поиск такого числа требует участия лица, принимающего решение или эксперта.

Количество взаимно простых с числом  $m$  чисел, не превосходящих  $m$  определяется функцией Эйлера  $\varphi(m)$ . Известно аналитическое представление [2] этой функции  $\varphi(m) = m \left(1 - \frac{1}{p_1}\right) \left(1 - \frac{1}{p_2}\right) \dots \left(1 - \frac{1}{p_k}\right)$ , где  $p_1, p_2, \dots, p_k$  — все различные простые делители числа  $m$ .

При  $n=10$ ,  $N=25$   $m=N^n=25^{10}=95\ 367\ 431\ 640\ 625$ . Чтобы обеспечить ненулевой старший разряд в  $N$ -ичном представлении  $b$  должно выполняться неравенство  $b>25^9$ . Используя формулу для вычисления функции Эйлера получим, что общее количество взаимно простых чисел со значащим старшим разрядом для данного случая равно

$$\varphi(25^{10})-\varphi(25^9)=76\ 293\ 945\ 312\ 500 - 21\ 134\ 460\ 321\ 792=55\ 159\ 484\ 990\ 708.$$

Понятно, что в рассматриваемой постановке нет необходимости поиска среди такого количества вариантов всех взаимно простых с  $25^{10}$  чисел со всеми разрядами, отличными от нуля в 25-ичном представлении. Поэтому в программной реализации поиск ограничен тремя параметрами  $(k_1, k_2, k_3)$ . Диапазон поиска ограничен значениями от  $N^{m-1}$  до  $k_1N^{m-1}$ ,  $k_1<N$ . В этом диапазоне числа перебираются с шагом  $k_2$ . Среди них выбираются числа 1) взаимно простые с  $N^n$ , 2) не содержащие нулевых разрядов. Для дальнейшего анализа берутся только первые  $k_3$  чисел. Эксперт имеет возможность запустить генерацию последовательности паспортов с тем или иным шагом  $b$  и проанализировать выполнение требований 2, 3. Требования 1, 4 и 5 для этого алгоритма выполняются всегда.

Например, при  $n=10$ ,  $N=25$  были заданы параметры  $k_1=2$ , т.е. поиск проводился в диапазоне от  $25^9=3814697265625$  до  $2 \cdot 25^9=7629394531250$  с шагом  $k_2=69\ 358\ 132$ . Были отобраны первые  $k_3=100$  взаимно простых с  $25^{10}$  чисел со всеми разрядами отличными от нуля в 25-ичном представлении. Эксперт выбрал шаг алгоритма

$$b=(1|2|11|24|3|17|8|5|1|21)_{25}=4\ 192\ 907\ 159\ 421_{10}.$$

Характеристики сгенерированной с этим шагом последовательности представлены в табл. 1, 2 и на рис.1. В табл. 1 отражены результаты следующего эксперимента. Произвольным образом выбран один вариант и произведен подсчет количества совпадений с остальными вариантами. Так в начальном отрезке последовательности длиной 100 вариантов 72 варианта не совпадают с выбранным ни в одном экземпляре задачи, 24 варианта имеют совпадение по одному экземпляру задачи, 3 – по двум, ни в одном варианте нет четырех совпадений с выбранным. С ростом длины последовательности количество совпадений также растет. Из диаграммы на рис. 1 видно, что на качественном уровне можно охарактеризовать этот рост как линейный. Приведенные величины мало зависят от выбранного варианта. Конечно, надо учесть, что представленные результаты относятся к начальному участку длинной последовательности.

Анализ последовательности показывает, что требование 2 об отсутствии совпадений в любом отрезке длиной  $N$  в сформулированном виде не выполняется. Однако, возможно, что лицо, принимающее решение (эксперт, преподаватель, кафедра, деканат) согласно ослабить это требование, допустив определенное среднее количество совпадений на отрезке длиной  $N$ .

Таблица 1 – Зависимость количества совпадение от длины последовательности

длина последовательности→		количество вариантов			
		100	200	300	400
количество совпадений →	0	72	145	215	281
	1	24	42	65	97
	2	3	11	15	17
	3	0	1	4	4
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0

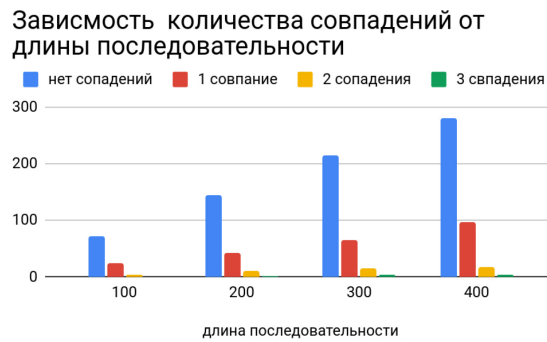


Рис. 1 – Зависимость количества совпадение от длины последовательности

В табл. 2 представлены диаграммы частоты появления экземпляров задач в последовательности вариантов при длине последовательности  $k$  равной соответственно 100, 200, 300, 400, ..., 2000. Эти диаграммы предназначены для анализа выполнения требования 3. Из приведенных диаграмм можно заключить, что с ростом длины последовательности частота появления экземпляров задач постепенно выравнивается. При  $k=2000$  среднее отклонение частоты появления экземпляров задачи 4 от  $k/N=80$  составляет 15%. Для остальных задач это отклонение значительно меньше. Таким образом, можно считать требование 3 выполненным только в случае, если планируется выдавать большое количество вариантов (1000 и более).

Таблица 2 – Частота использования экземпляров задач в последовательности

1.	<p>Частота использования экземпляров (100 вариантов)</p>	2.	<p>Частота использования экземпляров (200 вариантов)</p>
3.	<p>Частота использования экземпляров (300 вариантов)</p>	4.	<p>Частота использования экземпляров (400 вариантов)</p>
...		20.	<p>Частота использования экземпляров (2000 вариантов)</p>

### **Заключение**

Для выбора параметра  $b$  из пункта 1 алгоритма была разработана специальная программа – испытательный стенд. Эта же программа генерирует последовательность паспортов вариантов. Она включена в систему «РГР-Дупло» разработанную на кафедре «Математическая кибернетика» Московского авиационного института (МАИ) [4].

Как и другие подсистемы этой системы она реализована в виде гугл-таблицы с набором скриптовых функций.

### **Список литературы**

1. *Зацепин Н.А., Чернышов Л.Н.* Методы и средства продукционной генерации тестов по компьютерным дисциплинам // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 1. С. 73–83. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-1-73-83.
2. *Журавлёв Ю.И., Флёров Ю.А., Вялый М.Н.* Дискретный анализ. Основы высшей алгебры. – М.: МЗ Пресс, 2007. – 224 с.
3. *Ларин С.В.* Алгебра и теория чисел. Группы, кольца и поля— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 160 с.
4. *Алексеев Н.С.* Автоматизированное рабочее место преподавателя на основе технологий Google // Информационные и телекоммуникационные технологии. 2019. № 42. С. 32–37.

05.13.01

**В.В. Андреев, В.Е. Гай, Н.П. Тарасова, А.А. Самойлов, Е.Д. Ермоленко, А.А. Сатаев**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева»,  
Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической физики  
им. академика Ф.М. Митенкова,  
Нижний Новгород, ermolenko.katia2014@yandex.ru

### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ «ТЕХНИЧЕСКИЙ АНТИПЛАГИАТ» ДЛЯ ВКР БАКАЛАВРОВ**

*Рассмотрены проблемы применения системы «Антиплагиат» для проверки курсовых проектов и ВКР бакалавров по техническим специальностям. Сформулирован методический подход к разработке системы «Технический Антиплагиат» и направления использования указанной системы. Приведен пример работы системы «Технический Антиплагиат» по выявлению внутренних связей между параметрами, формирующими базу данных.*

Ключевые слова: *технический проект, антиплагиат, процент уникальности, система «Технический Антиплагиат».*

Известна проблема количественной оценки степени уникальности текстовых документов применительно к однотипным по форме конструкторским документам. Применение традиционного подхода, заключающегося в сопоставлении текста не возможно в этом случае, поскольку документы выполнены в соответствии со строгими рекомендациями, определяющими формулировки и правила оформления текста. Разница в численных значениях, рассчитываемых автором проекта, не достаточна для того, чтобы получить требуемый процент уникальности выпускной квалификационной работы (ВКР). Целью статьи является краткое изложение концепции и основных направлений возможного использования системы «Технический Антиплагиат».

Плагиат – это умышленно совершаемое физическим лицом незаконное использование или распоряжение охраняемыми результатами чужого творческого труда, которое сопровождается доведением до других лиц ложных сведений о себе как о действительном авторе [1]. Сегодня указанную проблему решают с помощью системы «Антиплагиат» или аналогичных систем. «Антиплагиат» проверяет текстовый документ на предмет совпадений и заимствований и выявляет ошибки. Итогом проверки является «процент уникальности». Низкий «процент уникальности» не всегда говорит о том, что студент является злостным нарушителем академической этики. Во многих случаях – это результат неправильно оформленных цитат и сносок. Кроме того, для технических ВУЗов результат поиска совпадений в тексте курсового проекта или ВКР не всегда является показательным.

Технический проект – это задание, выполненное по уникальным исходным данным, по жесткому алгоритму, который нельзя изменять. При оформлении расчетов все действия комментируются с использованием стандартных формулировок, описывающих выполнение тех или иных этапов проектирования. В силу строгости методики расчета, текст, образованный подобными комментариями в различных работах, не будет уникален. Но этот текст – показатель «заимствования» в том смысле, в каком производит оценку система «Антиплагиат», а отнюдь не подтверждение заимствования результатов проектирования с точки зрения смыслового содержания курсового проекта. Многолетняя практика применения системы «Антиплагиат» показывает, что нужно менять подход к оценке уникальности технического проекта. Необходима разработка инструментов, способных реализовать по-разному процедуру оценки уникальности двух технических проектов, практически идентичных по форме представления результатов, но отличающихся по результатам расчетов – численным значениям, определяющим степень содержательной, а не формальной уникальности спроектированного технического объекта.

Концепцию системы «Технический Антиплагиат» и результаты разработки этой системы проиллюстрируем результатами, полученными на кафедре «Ядерные реакторы и энергетические установки». ВКР включает в себя несколько расчетов: расчет тепловой схемы ядерной энергетической установки (ЯЭУ), расчет активной зоны реактора, расчет паровой турбины, расчет главного циркуляционного насоса первого контура (ГЦНПК), расчет парогенератора (ПГ). Для ГЦНПК, турбины высокого давления (ТВД) и ПГ выполняются сборочные чертежи, а для реактора – чертеж общего вида [2-4]. В результате наполнения базы ВКР бакалавров требуемый процент уникальности не выполнялся. Некоторое время указанная проблема решалась путем введения индивидуальной обзорной части и специального вопроса. Но на сегодняшний день требуемый процент уникальности ВКР получить уже не удастся, так как специальный вопрос и индивидуальная обзорная часть составляют небольшую часть содержимого ВКР.

Выполнение студентами технических проектов однотипного оборудования позволяет разработать достаточно простую процедуру сравнения двух элементов некоторого множества, которые и представляют собой результаты проектирования с содержательной точки зрения. Из каждого расчета в базу данных записываются исходные, промежуточные и выходные данные, а с чертежей основные размеры. Был сформирован «цифровой портрет» технического проекта, используя который можно выполнить проверку уникальности проекта более точно. Принцип работы системы основан на том, что каждый проект – совокупность параметров. Параметры – координаты вектора в некотором n-мерном пространстве. Сравнить два проекта – это значит определить степень близости двух точек в этом n-мерном пространстве. Совпадение точек (разных работ) говорит о заимствовании расчетных данных. Реализация такой информационной системы представляет собой не технологии преодоления системы «Антиплагиат», а получение возможности оценивать оригинальность технической документации по проектам. На рисунке 1 представлены возможные направления использования системы «Технический Антиплагиат».



Рис. 1 – Направления использования системы «Технический Антиплагиат»

Опыт разработки системы «Технический Антиплагиат» позволяет сформулировать перечень ресурсов (условий), необходимых для успешного формирования данной системы. Необходимы наличие запасов дипломов, включающих в себя одинаковый перечень расчетов и преподаватели-эксперты в конкретной предметной области. По мере заполнения базы данных результатами расчетов ВКР может возникнуть вопрос о проверке не только уникальности, но и правильности выполнения рассматриваемого расчета. Компетентные преподаватели, курирующие свои дисциплины, могут сформулировать закономерности, доказывающие правильность выполненных расчетов. Для иллюстрации возможностей проверки системой результатов проектирования рассмотрим сопоставление результатов

расчетов параметров подшипника ГЦНПК. В соответствии с методическими рекомендациями один из параметров подшипника рассчитывается как результат умножения другого параметра на эмпирический коэффициент, зависящий от особенностей реакторной установки, условий эксплуатации, используемых материалов. Значение используемого коэффициента предоставляется студентам как известная величина. Рассмотрение всех вариантов расчетов (ВКР бакалавров) позволяет получить прямолинейную зависимость, приведенную на рисунке 2.

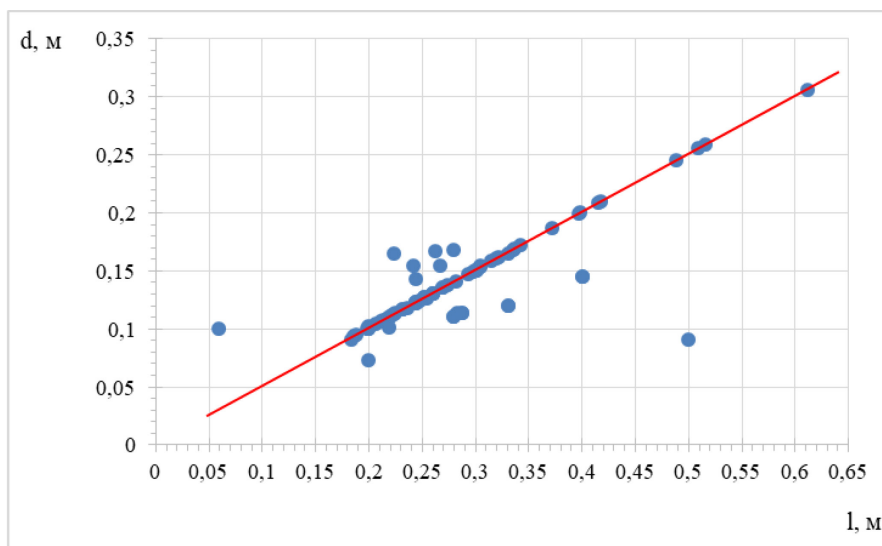


Рис. 2 – Зависимость длины подшипника ГЦНПК от его диаметра, выявленная в результате сопоставления результатов расчета ВКР

Однако в базе данных были выявлены несколько работ, связь параметров подшипника в которых была иной, нежели рекомендуемая в методических указаниях. Причины таких отклонений могут быть различными. Не в каждом из этих случаев необходима проверка результатов расчетов преподавателем. В некоторых случаях достаточно обратить внимание студента на несоответствие вводимых и ожидаемых результатов, что может быть выполнено с использованием интерактивной связи студента и системы в процессе проверки результатов расчета.

Таким образом, при оценке степени уникальности технического проекта (курсового проекта или ВКР бакалавра по техническим дисциплинам) необходимо учитывать содержательную сторону технического проекта. Рассмотрение «цифрового портрета» технического проекта позволяет не только оценить его уникальность, но и реализовать целый комплекс полезных функций, включая различные уровни проверки результатов расчетов, генерацию рекомендаций по исправлению ошибок, сохранение опыта, накопленного преподавателями, а также выявление скрытых закономерностей при анализе имеющейся в базе данных информации.

#### Список литературы

1. Бобкова О.В., Давыдов С.А., Ковалева И.А. Плагиат как гражданское правонарушение / Патенты и лицензии – 2016. – № 7. URL: <https://www.russianlaw.net/files/law/doc/a332.pdf>
2. Аношкин, Ю.И. Тепловой и прочностной расчет паровых турбин ядерных энергетических установок: учеб. пособие / Ю.И. Аношкин, Л.Д. Полканов; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е.Алексеева. – Нижний Новгород, 2018. – 87 с.
3. Андреев, В.В. Экспериментальные исследования ядерно-физических систем: учеб. пособие / В.В. Андреев, С.Е. Шлокина, В.А. Чирков [и др.]; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е.Алексеева. – Нижний Новгород, 2019. – 146 с.
4. Аношкин, Ю.И. Теплообменные процессы в ЯЭУ: учеб. пособие / Ю.И. Аношкин, А.В. Дунцев; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е.Алексеева. – Нижний Новгород, 2015. – 139 с.

05.13.01

**А.П. Буйносов д-р техн. наук, А.Т. Шарапов, А.А. Козлова**

Уральский государственный университет путей сообщения,  
кафедра «Электрическая тяга»,  
Екатеринбург, buinosov@mail.ru,  
sharapov.aliexandr97@mail.ru, AKozlova@usurt.ru

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО И ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЕМПФЕРА ЭЛЕКТРОВОЗА

Приводится методика для расчета параметров демпфера с помощью рабочей диаграммы. Расчет производится для усовершенствованного и используемого гидродемпфера серии 667 электровоза ЭП2К. Для усовершенствованного демпфера параметр сопротивления находится в пределах 90–100, а для используемого – 75–125.

Ключевые слова: *электровоз, демпфер, используемый, усовершенствованный, параметр, расчет.*

Как видно из диаграмм неисправностей (рис. 1–4), построенных на основе собранной статистической информации о неисправностях механической части электровоза ЭП2К в депо Барабинск в 2019–2021 гг., наиболее уязвимым элементом является гидродемпфер. Основной причиной его неисправности является течь масла из буксового демпфера, облом проушин, повреждение сальника штока, ослабление гайки корпуса, недостаток рабочей жидкости. Общее количество таких неисправностей составляет 70 % от общего числа неисправностей механической части электровоза ЭП2К (см. рис. 4).

Причина появления таких неисправностей как течь масла и ослабление гайки корпуса является особенность конструкции гидродемпфера, что напрямую зависит от соблюдения технологии сборки и проектировки, осуществляемых на заводе-изготовителе. Эти неисправности составляют до 65 % от общего числа дефектов данного узла, что вызвало необходимость совершенствовать конструкцию применяемого гидродемпфера [1].

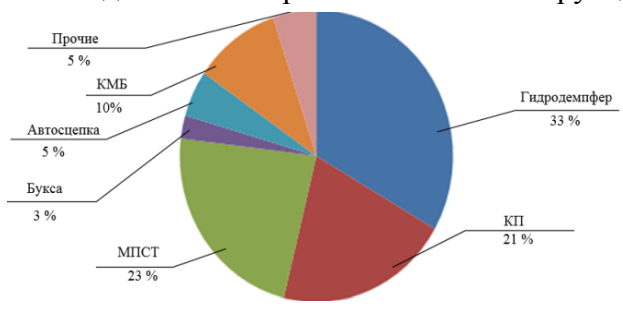


Рис. 1 – Диаграмма неисправностей механической части за 2019 г.

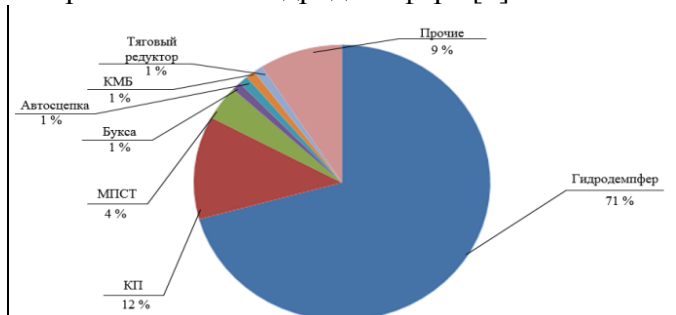


Рис. 2 – Диаграмма неисправностей механической части за 2020 г.

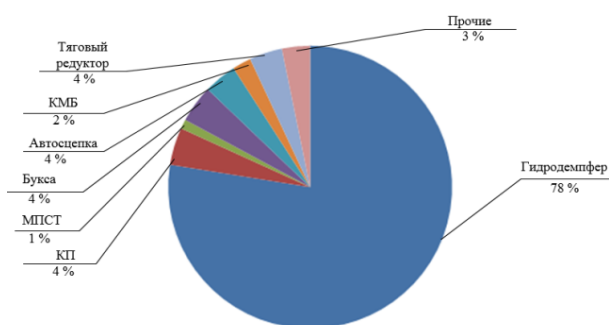


Рис. 3 – Диаграмма неисправностей механической части за 2021 г.

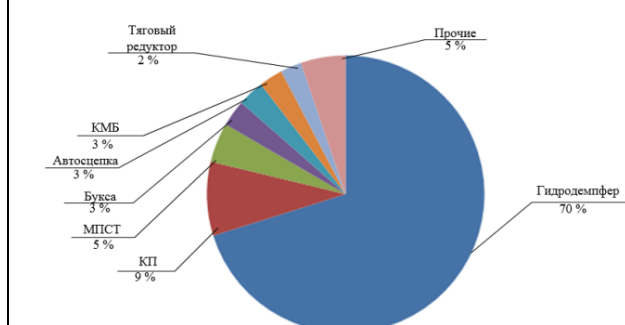


Рис. 4 – Диаграмма неисправностей механической части за 2019–2021 гг.



Из-за износа и повреждения трущихся частей демпфера в процессе эксплуатации они теряют свои эксплуатационные характеристики. Для восстановления или поддержания заданного уровня функциональности используется плановая система технического обслуживания и ремонта (ТО-3 и ТР). Расчет гидравлического гасителя колебаний предусматривает определение диаметра штока поршня  $d_{ш}$  и ролика  $d_{р}$ , клапан регулирует размеры каналов (длина  $l$ , ширина  $b$ , высота  $h$ ), жесткость  $C$  и сжатия  $f_0$  шарового предохранительного клапана пружинного подшипника [2]. Чтобы рассчитать эти значения, это самая большая сила сопротивления, которую демпфер вибрации оказывает на резервуар. Допустимая сила сопротивления демпфера пропорциональна первой степени скорости движения, получаем максимальную силу:

$$F_{\max} = \beta \cdot \dot{z}_{\max} \quad (1)$$

Параметр сопротивления демпфера приблизительно можно определить по формуле:

$$\beta = \frac{0,16}{n_b} \cdot \sqrt{P_b \cdot C_b}, \quad (2)$$

где  $\beta_b$  – параметры сопротивления вертикального гасителя центрального подвешивания, Н·с/м;  $P_b$  – вес кузова брутто, Н;  $C_b$  – жесткость центрального рессорного подвешивания локомотива в вертикальном направлении, Н/м;  $n_b$  – число гасителей вертикальных в центральном рессорном подвешивании в тележке.

Более точно, расчет параметров демпферов можно выполнить с помощью рабочей диаграммы для усовершенствованного и для используемого гидродемпфера серии 667 [1].

Сила сопротивления начального участка может быть выражена приблизительно:

$$F = \beta \cdot Z^m, \quad (3)$$

где  $\beta$  – коэффициент (параметр) сопротивления демпферов, кН·с/м;  $Z$  – линейная скорость поршня относительно цилиндра, см;  $m$  – показатель степени ( $0 < m < 3$ ).

Для измерения и оценки  $F$  используем рабочую диаграмму, которую получаем экспериментально, путем использования испытательного стенда [2, 3]. При испытании демпферов на стенде нижней головке демпфера задается возвратно-поступательное движение:

$$Z_H = Z_H^{\max} \cdot \sin \omega t, \quad (4)$$

где  $Z_H^{\max}$  – амплитуда возвратно-поступательного движения нижней головки демпфера, см;  $\omega$  – круговая частота колебаний, 1/с.

В результате того, что верхний зажим из-за упругости торсиона немного перемещается, движение поршня по отношению к цилиндру будет меньше на величину смещения верхнего зажима  $Z_B$ :

$$Z = Z_H - Z_B. \quad (5)$$

При низких частотах колебаний можно опустить величину сдвига фаз между значениями сил сопротивления на верхней и нижней головках демпфера и принять закон изменения замещения  $Z$  по зависимости:

$$Z_B = Z_B^{maa} \cdot \sin \omega t, \quad (6)$$

где  $Z_B^{maa}$  – амплитуда перемещения верхней головки демпфера, см.

Тогда относительное перемещение поршня относительно цилиндра можно записать в виде [4]:

$$Z = Z_H - Z_B = (Z_H^{\max} - Z_B^{maa}) \cdot \sin \omega t = Z_0 \cdot \sin \omega t, \quad (7)$$

где  $Z_0$  – амплитуда перемещения поршня демпфера относительно цилиндра, см.

$$Z_0 = Z_H^{\max} - Z_B^{maa}. \quad (8)$$

Для гидродемпферов, которые устанавливаются на тележки КВЗ-5 и КВЗ-ЦНИИ, силу сопротивления принимаем линейно зависящей от скорости поршня в цилиндре [5]:

$$F = \beta Z = \beta \omega Z_0 \cdot \cos \omega t. \quad (9)$$

Работа, которая поглощается демпфером за 1 период гармонических колебаний, на основе выражений (8) и (9) определяется как:

$$W = \int_0^{2\pi} F dZ = \pi \cdot Z_0^2 \cdot \omega \beta. \quad (10)$$

Из выражения (10) можно найти среднее значение коэффициента сопротивления за 1 цикл:

$$\beta = \frac{W}{\pi \cdot Z_0^2 \cdot \omega}. \quad (11)$$

Эта величина называется параметром сопротивления демпфера. Параметр  $\beta$  – постоянная величина, не зависящая от режима колебаний. Она является одной из основных характеристик гидродемпфера [6].

Чтобы определить параметр сопротивления, на испытательном стенде записываем рабочую диаграмму ( $F(Z_n)$ ). Так как диаграмма записывается в координатах  $F$  – а не в координатах  $F$ – $Z$ , то она имеет наклон, который обусловлен наличием перемещения  $Z_b$  верхней головкой демпфера [7].

Площадь диаграммы в некотором масштабе показывает работу, которая поглощается демпфером за 1 период колебаний. Точное измерение площади диаграммы при регулировании перемещения  $Z_n$  на величину  $Z_b$  затруднительно. Поэтому параметр  $\beta$  определяем по величине максимального усилия. Максимальное значение силы демпфер развивает в середине хода, именно в этот момент скорость перемещения его поршня относительно цилиндра достигает наибольшей величины:

$$Z_0 = Z_0 \cdot \omega. \quad (12)$$

Из этого выражения можно определить параметр сопротивления:

$$\beta = \frac{F_{\max}}{\omega \cdot Z_0} = \frac{F_{\max}}{2\pi \cdot n \cdot Z_0}, \quad (13)$$

где  $n$  – частота колебаний, Гц.

Силу сопротивления  $F_{\max}$  для демпферов принимаем равной среднему значению:

$$F_{\max} = \frac{F_{\text{сж}}^{\max} + F_{\text{р}}^{\max}}{2}, \quad (14)$$

где  $F_{\text{сж}}^{\max}$ ,  $F_{\text{р}}^{\max}$  – силы сопротивления во время сжатия и растяжения соответственно, которые взяты из рабочей диаграммы, Н.

Амплитуду колебаний можно найти при положении поршня демпфера в крайнем нижнем или крайнем верхнем положении, в этот момент скорость поршня равна 0, и сила сопротивления тоже равно 0. Рессора оказывается ненагруженной и занимает нейтральное положение  $Z_b = 0$ , а следовательно:

$$Z_0 = Z_n^{\max} = \frac{h}{2}, \quad (15)$$

где  $h$  – ход ползуна стенда, см.

Запись рабочей диаграммы производится при частоте колебаний  $n = 1,51$  Гц и при скорости перемещения поршня, которая не превышает скорость, при которой срабатывают предохранительные клапаны. Предохранительные клапаны регулируются на давление рабочей жидкости в демпферах  $45 \text{ кгс/см}^2$ . Для исправных демпферов величину хода ползуна во время испытаний принимаем 15 мм. Для усовершенствованного демпфера  $\beta$  находится в пределах 90–100, а для используемого в настоящее время на электровозе – 75–125. Демпфер считается работоспособным, если его параметр сопротивления отклоняется не более чем на 25 % от 100.

Исходя из расчетов можно сделать следующие выводы: усовершенствованный гидродемпфер является пригодным к ТО-3 и ТР, а также годен для дальнейшей эксплуатации, так как параметр сопротивления находится в интервале:  $90 \leq \beta \leq 110$  и не было обнаружено следов течи масла на поверхности гидродемпфера; гидродемпфер серии 667, принадлежащий электровозу ЭП2К, годен к ТО-3 и ТР, но не пригоден для дальнейшей эксплуатации, так как параметр сопротивления лежит в интервале:  $75 \leq \beta \leq 125$ , но на поверхности демпфера были обнаружены следы течи масла.

#### **Список литературы**

1. Буйносов А.П. Результаты испытаний гидродемпфера электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 9. С. 7-10.
2. Буйносов А.П. Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4(24). С. 21-25.
3. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
4. Буйносов А.П. Влияние условий эксплуатации на износ бандажей // Локомотив. 1995. № 1. С. 33-34.
5. Буйносов А.П., Худояров Д.Л. Влияние упрочнения гребней на ресурс бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 1 (24). С. 63-68.
6. Буйносов А.П., Мишин Я.А. Повышение долговечности опорных цилиндрических роликовых подшипников тягового привода пассажирского электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 151-154.
7. Буйносов А.П., Мишин Я.А. Повышение надежности тяговых редукторов электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 85-89.

05.13.01

**В.В. Воронин**

Тихоокеанский государственный университет,  
Факультет автоматизации и информационных технологий,  
кафедра Автоматики и системотехники,  
Хабаровск, 004183vuv@mail.ru

### **ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРОВЕРОК**

*В работе представлены результаты формализации и анализа функциональных возможностей двух типов диагностических проверок – это проверки, реализуемые способом шунтирования и способом функциональных проб. Данные типы проверок анализируются для двух видов объектов проверки - в отношении последовательного и параллельного соединения в диагностических цепях их элементов.*

Ключевые слова: *поиск дефектов, диагностическая цепь, проверка, объект проверки, производственное правило.*

#### **Введение**

В настоящее время для описания структуры технического объекта диагностирования широко используются различные модели, анализ которых базируется на понятии диагностической цепи (ДЦ) [1-2], которая по определению состоит из элементов, называемых диагностическими блоками (ДБ). Технология поиска дефектного ДБ в определенной ДЦ допускает использование различных типов диагностических проверок, два из которых (шунтирование и функциональная проба) описаны ниже.

Способ шунтирования заключается в параллельной коммутации части ДЦ заведомо исправной цепью (проводником) с последующей фиксацией факта исправности или неисправности всей ДЦ. Способ функциональных проб заключается в подаче на объект проверки входных допустимых сигналов с последующей фиксацией выходной реакции в определенной контрольной точке и сравнении последней с эталонным значением.

Цель данной работы - исследование возможностей формализации диагностических проверок и их результатов, реализуемых способом шунтирования и способом функциональных проб, в отношении двух видов объектов проверки, а именно: последовательного соединения ДБ (простая ДЦ) и параллельного соединения ДБ.

#### **1. Способ шунтирования диагностических цепей**

Пусть объектом возможных проверок является простая ДЦ. Структура цепи, состоящая из  $n$  ДБ, и шунтирование в этой цепи  $m$  блоков от её начала иллюстрируются на рис. 1. Такой объект допускает возможность реализации двух видов проверок, а именно: индивидуальную проверку ДБ и проверку части ДЦ, включающую более одного ДБ. Формально обозначать эти виды проверок будем в одном и том же формате:

$$\pi_{x-x}^n \text{ и } \pi_{x-y}^n,$$

где  $n$  – число ДБ в проверяемой ДЦ;  $x \in \{1, 2, \dots, n\}$  и  $y \in \{1, 2, \dots, n\}$  – номера блоков в их упорядоченной последовательности относительно данной ДЦ. Если  $y=x$ , то проверка  $\pi_{x-x}^n$  проверяет один ДБ с номером  $x$ . В проверках  $\pi_{x-y}^n$  номера соотносятся как  $x \leq y$ , если нумерация блоков слева направо, в противном случае – справа налево.

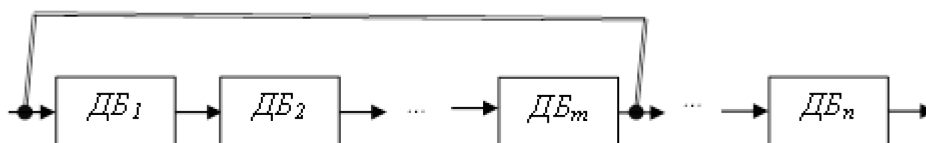


Рис. 1 – Простая диагностическая цепь

Каждая проверка является посылкой для некоторого диагностического заключения. В противном случае – она теряет логический смысл. Связи проверок и соответствующих заключений будем представлять в стандартной логической форме - в виде продукционного правила

$$\text{Если } \pi_{x-y}^{n,i} = H_{ij}, \text{ то } D_j, \quad (1)$$

где  $\pi_{x-y}^{n,i}$  – результат  $i$ -й проверки,  $H_{ij}$  –  $j$ -е эталонное значение результата  $i$ -й проверки;  $D_j$  – диагностическое заключение для  $j$ -го эталонного значения.

Рассмотрим ряд вариантов формы (1) относительно простой ДЦ. Пусть требуется реализовать контрольную проверку ДЦ, состоящую, например, из 8 блоков. Формально выражение (1) для такой проверки с положительным результатом представимо в следующем виде:

$$\text{Если } \pi_{1-8}^8 = T., \text{ то } D = (11111111). \quad (2)$$

В выражении (2) набор (11111111) формализует высказывание о том, что Каждый из 8 ДБ является исправным. С другой стороны, при отрицательном результате контрольная проверка должна иметь вид:

$$\text{Если } \pi_{1-8}^8 = F., \text{ то } D = (dddddddd). \quad (3)$$

Содержательно выражение (3) говорит о том, что в ДЦ имеет место хотя бы один дефектный блок, и каждый из 8 блоков подозревается неисправным - (dddddddd). Однако, полное шунтирование цепи не имеет диагностического смысла по причине того, что такое шунтирование всегда даёт положительный результат. Как следствие, выражение по форме (3) в реальной практике не реализуемо.

Этот факт требует наличия в алгоритме диагностирования контрольной проверки другого типа (не типа шунтирования). В частности, допустимо использовать проверку способом функциональных проб [3]. При дальнейшей локализации дефектных блоков достаточным является наличие диагностических проверок типа шунтирования.

Пусть объектом проверки является отдельный ДБ, например, с номером 5, а ранее контрольная проверка дала отрицательный результат – выражение (2). Детерминированную реализацию формы (1) естественно представить следующей парой правил:

$$\begin{aligned} \text{Если } \pi_{5-5}^8 = T., \text{ то } D = (11110111); \\ \text{Если } \pi_{5-5}^8 = F., \text{ то } D = (dddxdddd). \end{aligned} \quad (4)$$

Первое правило в (4) формализует высказывание: если в неисправной ДЦ шунтирование отдельного блока (в данном случае блока 5) даёт положительный результат, то этот блок является дефектным, а все остальные блоки – исправные. Второе правило – если в неисправной ДЦ шунтирование отдельного блока (в данном случае блока 5) даёт отрицательный результат, то этот результат ухудшает ситуацию, а именно: остальные блоки по-прежнему остаются подозреваемыми, а блок 5 или исправен - 1, или неисправен – 0 (есть другие дефектные блоки), или подозреваемый -  $d$ , т.е. -  $x$ .

Рассмотрим в качестве объекта проверки часть ДЦ, например, включающую блоки с номерами от 1 и до 5 включительно. По-прежнему, предшествующая контрольная проверка имеет отрицательный результат. В этом случае форма (1) реализуется следующей парой правил:

$$\begin{aligned} \text{Если } \pi_{1-5}^8 = T., \text{ то } D = (dddd1111); \\ \text{Если } \pi_{1-5}^8 = F., \text{ то } D = (dddddddd). \end{aligned} \quad (5)$$

Первое правило в (5) формализует следующее высказывание: если в неисправной ДЦ шунтирование подцепи (в данном случае это подцепь 1-5) даёт положительный результат, то блоки этой подцепи остаются подозреваемыми, а блоки остальной части цепи являются исправными. Второе правило – если в неисправной ДЦ шунтирование подцепи даёт отрицательный результат, то этот результат не изменяет диагностическую ситуацию – все блоки цепи остаются подозреваемыми.

## 2. Способ функциональных проб

Оценим возможности функциональных проб и шунтирования в отношении объекта проверки в виде сложной типовой ДЦ, схема которой приведена на рис. 2. Формализация заключения проверки, реализуемой способом функциональных проб, зависит от технологии соединения сигналов  $y_i$  в точке  $z$ . Когда сигналы  $y_i$  преобразуются в сигнал  $R$  по правилу «И» (например, мощности четырёх цилиндров ДВС объединяются на выходном валу), тогда правило проверки имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{Если } T = .T. \text{ и } R = .T., \text{ то } B_1 \& B_2 \& \dots \& B_n; \\ \text{Если } T = .T. \text{ и } R = .F., \text{ то } \bar{B}_1 \vee \bar{B}_2 \vee \dots \vee \bar{B}_n. \end{aligned} \quad (6)$$

В соотношениях (6)  $B_i$ ,  $\bar{B}_i$  - соответственно обозначение высказываний « $i$ -й блок исправен» и « $i$ -й блок не исправен».

Если же сигналы  $y_i$  объединяются по правилу «ИЛИ» ( $n$ -кратное нагруженное резервирование), то формальные правила изменяются и принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{Если } T = .T. \text{ и } R = .T., \text{ то } \bar{B}_1 \vee \bar{B}_2 \vee \dots \vee \bar{B}_n; \\ \text{Если } T = .T. \text{ и } R = .F., \text{ то } B_1 \& B_2 \& \dots \& B_n. \end{aligned} \quad (7)$$

В (6) и (7) проверкой охватываются все блоки, и дальнейшая локализация в случае истинности второго правила в (6) имеет естественную последовательность. Она предполагает поочерёдное отключение блоков и фиксацию изменения реакции  $R$ . Если при отключении  $ДБ_i$   $R$  изменяется, то этот блок считается исправным, в противном случае – неисправным. Если, например, отключить высоковольтный провод от свечи зажигания в ДВС и при этом обороты двигателя ощутимо уменьшатся, то свеча и соответствующий ей цилиндр работоспособны. В системе (7) истинность первого правила говорит о том, что хотя бы один блок исправен. Если требуется проверка всех блоков, то следует их все отключить, а затем последовательно поочерёдно включать. На  $i$ -ом шаге истинность первого правила в (7) свидетельствуют об исправности  $ДБ_i$ ; ложность – о неисправности.

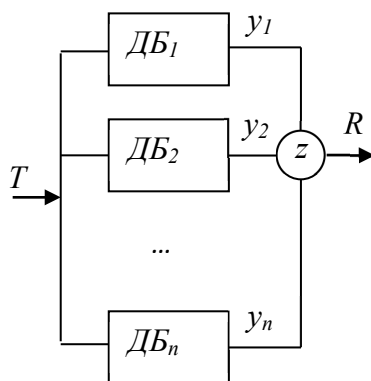


Рис. 2 – Параллельное соединение ДБ

Проверка данной ДЦ способом шунтирования относительно точек, соответствующих сигналам  $T$  и  $R$  (см. рис. 2), охватывает всю цепь полностью. Поэтому она, также как в случаях (2) и (3), не имеет диагностического смысла постольку, поскольку всегда выдаёт положительный результат. Однако, индивидуальная проверка шунтированием любого ДБ для данной цепи широко используется в практической деятельности.

### Заключение

Элементы множества возможных диагностических проверок имеют различные наборы свойств. В эти наборы обычно включают: вероятность отказа объекта проверки, его доступность, сложность и информационная емкость самой проверки. В отношении рассмотренных типов проверок первое из них наиболее важное постольку, поскольку наилучшие результаты дают проверки с положительным исходом. Чем больше вероятность отказа объекта проверки, тем вероятнее её положительный результат. Этот факт необходимо учитывать в первую очередь при синтезе алгоритмов поиска дефектных блоков.

В перспективе планируется исследовать возможность декомпозиции ДЦ общего вида на множество типовых цепей и сложных ДБ, а также исследовать диагностические цепи с обратными связями, как объекты проверки, обладающие внутренней памятью [4].

#### **Список литературы**

1. Лузгин В.В. Структура, формирование и функционирование эвристических программ диагностирования промышленных объектов // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2009. – №. 4. – С. 25-29.
2. Ефанов Д.В., Хорошев В.В. Динамические вопросники для организации систем поддержки принятия решений, интегрированных в программные средства диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики // Автоматика на транспорте. – 2021. – Т. 7. – №. 1. – С. 101-136.
3. Воронин В.В. Диагностические проверки и их логические формы // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – №. 9. – С. 9-14.
4. Shalobanov S.V., Shalobanov S.S. Diagnostics of automatic control systems using trial deviations of model parameters and binary diagnostic signs // 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – 2020. – P. 1-5. (DOI: 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208057).

05.13.01

**И.Б. Гинзбург канд. техн. наук**

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)»,  
кафедра «Прикладная информатика»,  
Москва, iliagi@mail.ru

### **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛОКАЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ НА СТОРОНЕ КЛИЕНТА**

*В статье проанализировано развитие возможностей локального хранения данных веб-приложений на стороне клиента с точки зрения их пригодности для обеспечения отказоустойчивости и автономной работы веб-приложений при отсутствии подключения к сети Интернет. Рассматривается решение задачи обеспечения отказоустойчивости и автономной работы веб-приложений средствами клиентской части самого веб-приложения. Обоснован выбор способов локального хранения данных веб-приложений на стороне клиента для реализации предложенного решения.*

Ключевые слова: *отказоустойчивые веб-приложения, автономные веб-приложения, кэш браузера, application cache, localstorage, service worker cache, indexeddb.*

Локальное хранение данных веб-приложений на стороне клиента является стандартной функциональностью веб-браузеров со времен появления первых веб-сайтов. Данная функциональность обычно скрыта от пользователя, кроме случаев ручного сохранения веб-страницы самим пользователем, но используется она на каждом сайте вне зависимости от того сохраняет себе что-то пользователь или нет. Это делается для того, чтобы сэкономить сетевой трафик, повысить скорость загрузки веб-страниц и сохранять данные о состоянии авторизации (сессии) пользователя на конкретном сайте.

Первыми появившимися инструментами для этого были кэш веб-браузера для увеличения скорости загрузки и файлы cookie для отслеживания состояния сессии. Кэш веб-браузера может занимать до 10% свободного места постоянной памяти клиентского устройства. Файл cookie может иметь объем до 4096 байт и для одного сайта их может быть одновременно до 20 штук.

Ускорение загрузки страниц и экономия трафика при использовании такой функциональности происходит за счет того, что загруженные элементы веб-страниц сохраняются в кэше браузера, если это разрешено сервером, а затем подаются из кэша, если на сервере они не были изменены с момента последней загрузки, или скачиваются с сервера, если там есть обновленная версия. К файлам кэша нельзя напрямую обратиться из веб-приложения, это делает только браузер. Что касается файлов cookie, то все они отправляются на сервер с каждым HTTP-запросом, поэтому не способствуют экономии трафика. Хотя с файлами cookie можно работать из веб-приложения, но их малый размер и постоянная пересылка на сервер не позволяет сделать что-то масштабное. Хотя объем локального кэша веб-браузера для хранения элементов веб-страниц может быть достаточно большим, он не обеспечивает возможностей автономного просмотра веб-страниц и локального сохранения введенных пользователем данных веб-форм в случае сбоя соединения между клиентом и сервером или при отсутствии подключения к сети Интернет, поэтому в таких случаях сайты не открываются, а введенные данные теряются.

Этого было достаточно до тех пор, пока пользователи работали со стационарными компьютерами с надежными сетевыми подключениями. Когда появились мобильные устройства, которые стали использоваться в зонах с нестабильным или отсутствующим подключением между клиентом и сервером возникла необходимость в обеспечении



отказоустойчивого ввода данных пользователем в веб-формы, автономной работы с ранее загруженными с сервера материалами, а также автоматической синхронизации данных между клиентом и сервером веб-приложения при появлении соединения между ними.

Для этого очень полезными оказались возможности хранения данных на стороне клиента стандарта HTML5: Application Cache для долговременного хранения файлов веб-приложения и обеспечения автономного к ним доступа с возможностью управления списком сохраняемых файлов с помощью `cache.manifest` до 50 МБ данных на один сайт с последующим запросом пользователю на разрешение увеличения данного объема; Web Storage для хранения данных вида ключ-значение, включающий в себя хранилище `sessionStorage` до 5 МБ данных на сессию пользователя на одном сайте до закрытия окна браузера и `localStorage` до 5 МБ данных на один сайт, сохраняемых даже после закрытия окна браузера.

Использование возможностей стандарта HTML5 позволило разработать новый способ функционирования и новую архитектуру веб-приложений с возможностью автономной работы и резервированием вводимых пользователями данных в случае обрыва соединения между клиентом и сервером [1]. Построенные на базе предложенной архитектуры автономные веб-приложения (АВП) смогли применяться там, где раньше это было невозможно из-за специфики территориальной удаленности и отсутствия надежного сетевого покрытия, например, в различных системах мониторинга крупномасштабных объектов [2, 3]. Благодаря этому информация из таких систем мониторинга стала доступна не только в центрах управления, где и раньше не было проблем с сетевым соединением между клиентом и сервером, и автономная работа не требовалась, но и конечным потребителям в местах, где вовсе может не быть сетевого подключения.

Однако Application Cache задает вопросы пользователю при загрузке каждые 50 МБ данных, объем `localStorage` ограничен 5 МБ, а количество видов фоновых операций с этими данными ограничено. Поэтому для создания сложных и функциональных АВП нужно использовать более современные средства: Service Worker Cache и IndexedDB.

Долгое время использование этих технологий ограничивалось отсутствием полной поддержки необходимым количеством веб-браузеров, но теперь, когда они поддерживаются всеми основными веб-браузерами стационарных и мобильных устройств [4] можно уверенно начинать их использование.

Технология Service Worker Cache, была разработана для долговременного локального хранения большого количества файлов веб-приложения и позволяет веб-приложению иметь больше режимов работы локального кэша данных. Что касается сохраняемого объема данных, то для устройств с объемом диска до 8 ГБ можно сохранять 50 МБ, для устройств с объемом диска от 8 ГБ до 32 ГБ – 500 МБ, для устройств с объемом диска более 32 ГБ – 4% объема диска, но не более 20 ГБ. Что касается режимов работы, то использование Service Worker Cache позволяет веб-приложению работать в следующих режимах: только кэш; только сеть; приоритет кэша перед подключением к сети; приоритет сети перед обращением к кэшу; отображение из кэша с обновлением по сети.

Технология IndexedDB разработана для долговременного локального хранения большого объема структурированных данных, включая двоичные файлы и работы с этими данными с помощью веб-приложения. Что касается максимального сохраняемого объема данных, то это зависит от типа веб-браузера и объема постоянной памяти клиентского устройства. Так в веб-браузерах на основе Chromium всё хранилище данных IndexedDB может занимать до 80% объема места на диске. При этом данные одного веб-приложения могут занимать до 75% выделенного объема. Например, если объем постоянной памяти 100 ГБ, тогда хранилище IndexedDB может занимать 80 ГБ, а данные одного веб-приложения могут занять 60 ГБ. Браузер Firefox позволяет одному веб-приложению занимать 2 ГБ данных, а браузер Safari – 1 ГБ данных.

Следует отметить, что работа веб-приложения с хранилищами Service Worker Cache и IndexedDB осуществляется в асинхронном режиме, то есть не блокирует интерфейс веб-приложения и работу пользователя. Это позволяет осуществлять фоновое развертывание и

обновление данных даже больших веб-приложений, не отвлекая пользователя от работы и затем подавать пользователю необходимые данные из кэша, если происходит сбой сети или ее пропускная способность недостаточна.

Дальнейшее развитие АВП на основе описанных технологий локального хранения данных будет проходить в направлении расширения их прикладного использования в различных отраслях, где до этого применение веб-приложений было невозможно или ограничено. АВП смогут заменить многие приложения, построенные на основе данных: справочные, обучающие, для заполнения различных форм, для автоматизированных рабочих мест и др. Применение АВП позволит значительно ускорить и удешевить разработку кроссплатформенных клиент-серверных приложений.

#### **Список литературы**

1. *Гинзбург И.Б.* Состав и архитектура взаимодействия модулей функционально насыщенного автономного веб-приложения для распределенных систем информационной поддержки различных этапов жизненного цикла аэрокосмической техники // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2014. №6. С. 130–133.
2. *Гинзбург И.Б., Падалко С.Н., Терентьев М.Н.* Концепция систем дистанционного мониторинга процессов производства и испытаний аэрокосмической техники на основе многошлюзовой беспроводной сенсорной сети с автономным веб-приложением // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2015. №4. С. 58–61.
3. *Гинзбург И.Б.* Использование автономного веб-приложения при работе с данными дистанционного зондирования Земли в задаче мониторинга лесного хозяйства // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2018. №10. С. 165–168.
4. Summary table of the following features: ApplicationCache API, Service Workers, Web Storage - name/value pairs, IndexedDB [Электронный ресурс] // Can I use... Support tables for HTML5, CSS3, etc URL: [https://caniuse.com/indexeddb,serviceworkers,namevalue-storage,mdn-api\\_applicationcache](https://caniuse.com/indexeddb,serviceworkers,namevalue-storage,mdn-api_applicationcache) (дата обращения 12.01.2022)

05.13.01

**Д.С. Горбатенко**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
кафедра «Системный анализ и управление»,  
Москва, mai\_kaf604@mail.ru

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА УЧАСТКАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТОВ ТОРГОВЛИ**

*В статье рассматривается проблематика дорожно-транспортной аварийности на участках улично-дорожной сети вблизи которых функционируют объекты торговли. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий в таких местах. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике дорожно-транспортной аварийности.*

*Ключевые слова: безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, улично-дорожная сеть, объекты торговли, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.*

Обеспечение безопасности дорожного движения (БДД) заключается в создании условий, препятствующих возникновению таких негативных событий как дорожно-транспортные происшествия (ДТП), и снижения тяжести их последствий. В свою очередь, состояние этого процесса, отражающее степень защищённости участников дорожного движения от ДТП и их последствий, можно понимать, как уровень обеспечения БДД.

Безопасная дорожно-транспортная ситуация - это такое положение и скорость транспортных средств (ТС), при которых не возникает угроз участникам движения. Опасная - это такое положение и скорость ТС, при которых в результате неправильных действий одного из участников движения возникает реальная угроза возникновения ДТП, но при этом существует возможность его предотвращения [1].

Объекты торговли (крупные торговые центры и одиночные) являются объектами массового притяжения людей и транспорта, и их наличие вблизи улично-дорожной сети (УДС) представляет собой сопутствующий фактор, создающий опасную дорожно-транспортную ситуацию на участках УДС вблизи этих объектов.

Рассмотрим структуру аварийности, произошедшей на участках УДС Московской области вблизи объектов торговли за 2017-21 гг. [2].

В среднем 25 % всех ДТП, произошедших на УДС Московской области, произошли в местах УДС вблизи объектов торговли, из них в среднем 75 % ДТП произошли внутри населенных пунктов.

Среди ДТП в местах вблизи объектов торговли, произошедших внутри населенных пунктов, в среднем 48 % ДТП – это столкновения, и в среднем 40 % - наезды на пешеходов. В среднем в 40 % фиксировались недостатки транспортно-эксплуатационного состояния дорог, а именно отсутствие горизонтальной дорожной разметки (в 12 %), отсутствие, плохая различимость и неправильное применение дорожных знаков (в 10 %), отсутствие пешеходных ограждений в необходимых местах (в 8 %), отсутствие тротуаров, пешеходных дорожек (в 6 %), и недостатки зимнего содержания (в 4 %).

Среди таких ДТП больше всего (в среднем 29 %) произошло на перегонах, в среднем 28 % - на нерегулируемых перекрестках, в среднем 25 % - на нерегулируемых пешеходных переходах, в среднем 12 % ДТП произошли на регулируемых перекрестках, 7 % - на регулируемых пешеходных переходах, и в среднем 5 % ДТП произошли на территории автостоянок у торговых объектов.

В населенных пунктах из таких ДТП вблизи объектов торговли в среднем 85 % происходили вблизи крупных торговых центров, остальные вблизи одиночных объектов торговли, в среднем в 25 % в ДТП фиксировалось мокрое состояние проезжей части, в 15 % - гололедные образования, в среднем в 10 % случаев фактором, влияющим на режим движения, было зафиксировано сужение проезжей части припаркованным автотранспортом. В среднем 50 % ДТП происходило при пасмурной погоде, в среднем 40 % - при ясной погоде, в среднем 10 % ДТП происходили в условиях дождя или снегопада. В среднем половина ДТП происходила в светлое время суток. В среднем в 95 % ДТП в местах ДТП отсутствовало барьерное ограждение различных видов, разделяющее направления движения.

В среднем в 60 % ДТП фиксировалось нарушение правил дорожного движения (ПДД) со стороны водителей ТС. Из них самыми распространенными являлось несоблюдение очередности проезда (26 %), нарушение правил проезда пешеходных переходов (24 %), нарушение скоростного режима (12 %), и неправильный выбор дистанции (10 %).

Среди пешеходов самым распространенным (77 %) нарушением ПДД, приведшим к ДТП, являлось переход проезжей части вне пешеходного перехода или в неустановленном для перехода месте.

Среди ДТП вблизи объектов торговли вне населенных пунктов значительно преобладают столкновения (в среднем 70 %), наезды на пешеходов в среднем 10 %. В среднем 35 % ДТП происходили на нерегулируемых перекрестках, в среднем 30 % на перегонах, в среднем 15 % - на регулируемых перекрестках, в среднем 10 % - на нерегулируемых пешеходных переходах, и в среднем 8 % ДТП произошли на автостоянках у торговых точек.

В среднем в 70 % ДТП в местах ДТП объектами торговли являлись крупные торговые центры, в остальных случаях – одиночные объекты.

В среднем в 25 % ДТП были зафиксированы недостатки транспортно-эксплуатационного состояния дороги, из них в среднем в половине случаев отсутствие, плохая различимость горизонтальной дорожной разметки, в среднем в 30 % - отсутствие, неправильное применение, плохая видимость дорожных знаков, и в среднем в 20 % ДТП – отсутствие или неисправность искусственного освещения проезжей части. В среднем в 10 % ДТП фиксировалось сужение проезжей части вследствие проведения работ, наличия припаркованного транспорта, ранее произошедшего ДТП, а также неудовлетворительного состояния тротуара (пешеходной дорожки). В среднем 75 % ДТП произошли при сухом состоянии проезжей части, в светлое время суток в среднем происходило 60 % ДТП.

Среди нарушений ПДД, приведших к ДТП и допущенных водителями ТС, преобладали несоблюдение очередности проезда и нарушения правил проезда пешеходных переходов (в среднем в 40 % случаев), неправильный выбор дистанции (в среднем в 22 % случаев), несоответствие или превышение скоростного режима (в среднем в 20 % случаев), и нарушения правил перестроения (в среднем в 12 % случаев). Среди нарушений ПДД пешеходами, приведшими к ДТП, преобладали переход проезжей части вне пешеходного перехода или в неустановленном месте (в среднем в 60 % случаев), и неподчинение сигналам регулирования (в среднем в 35 % случаев). Более половины (в среднем 60 %) пешеходов-участников ДТП в местах вблизи торговых точек, произошедших в темное время суток, не имели на одежде световозвращающих элементов.

Проведенный анализ статистических данных об аварийности [2] на участках УДС вблизи объектов торговли показал следующее:

- основной причиной аварийности является пренебрежение участниками дорожного движения в этих местах требований ПДД;
- организация движения в местах УДС, вблизи которых находятся объекты торговли, не всегда обеспечивает БДД.

Водителю ТС при проезде мест вблизи торговых точек приходится находиться в крайне напряженном состоянии, постоянно быть готовым к появлению на проезжей части пешехода, соблюдать дистанцию, при этом не отвлекаясь на присутствующие вокруг рекламные «соблазны». Такой режим управления ТС для водителя можно сформулировать как крайне

«угнетенный». Вдобавок, такой режим движения способствует образованию дорожных заторов в этих местах, что приводит к неблагоприятной экологической ситуации.

Поэтому, основной задачей профилактики аварийности на УДС вблизи торговых объектов должно являться «успокоение» режима движения в этих местах. Успокоение движения достигается, главным образом, инженерными и административными решениями, обеспечивающими канализирование движения, т.е. разделение во времени и в пространстве транспортных и пешеходных потоков.

Таковыми решениями могут быть следующие:

- установка в местах УДС вблизи объектов торговли пешеходных ограждений, препятствующих несанкционированному выходу пешеходов на проезжую часть;
- запрет остановки и стоянки ТС на УДС вблизи объектов торговли, с одновременным созданием у объектов торговли автостоянок, отделенных от проезжих частей;
- создание разноуровневых (надземных или подземных) пешеходных переходов на УДС вблизи объектов торговли;
- внедрение светофорного регулирования на уже имеющихся наземных пешеходных переходах на УДС вблизи объектов торговли;
- обеспечение искусственного освещения участков УДС вблизи объектов торговли в темное время суток;
- минимизации влияния на водителей различных зрительных отвлекающих рекламных конструкций.

Прогнозная эффективность внедрения этих мероприятий на УДС Московской области была определена с помощью методики математического моделирования аварийности. Полученные теоретические результаты послужили основой для практической реализации данных мероприятий на автомобильных дорогах регионального значения области. Сравнение полученных прогнозных значений с фактическими данными об аварийности показало их совпадение, и подтвердило обоснованность применения методики математического моделирования для профилактики БДД [3].

**Заключение.** Объекты торговли, функционирующие вблизи УДС, не должны появляться стихийно, по прихоти предпринимателей, а должны рассматриваться как элемент обустройства УДС, и в процесс обеспечения БДД, являющейся важной общественной задачей, должны быть активно включены, и нести свою солидарную ответственность, администрации субъектов РФ, муниципальных образований, владельцы автодорог, и владельцы торговых организаций [3].

Предложенные технические решения действительно способны предотвратить возникновение конфликтных ситуаций в движении при проезде мест УДС вблизи торговых центров, и, как следствие, предотвратить ДТП, ранение и гибель в них людей.

#### **Список литературы**

1. *Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б.* Организация дорожного движения. М. Транспорт, 2001, -248 с.;
2. Статистические данные о дорожно-транспортной аварийности на территории Московской области за 2017-21 г. М. УГИБДД ГУ МВД России по Московской области, 2017-21;
3. *Кузнецов В.В., Горбатенко Д.С., Порташников О.М.* Адекватность применения методики математического моделирования в целях разработки программ, направленных на повышение уровня безопасности движения на региональных автодорогах на территории Московской области. Воронеж, журнал «Вестник Воронежского института МВД России», с. 64-70. Выпуск № 4, 2018 г.

05.13.01

<sup>1</sup>Н.С. Захаров д-р техн. наук, <sup>1</sup>Н.О. Сапоженков канд. техн. наук,  
<sup>1</sup>В.А. Бузин, <sup>1</sup>В.С. Петров, <sup>2</sup>В.А. Ракитин

<sup>1</sup>Тюменский индустриальный университет,  
Институт Транспорта,  
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,  
Тюмень, satm\_tsogu@mail.ru,  
<sup>2</sup>Тюменский государственный университет,  
кафедра информационной безопасности,  
Тюмень

## **АНАЛИЗ ОТКАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

*Легковые автомобили получили большое распространение в качестве универсального средства передвижения для решения широкого перечня задач, направленных на реализацию деятельности владельцев при индивидуальном использовании. Автомобильные организации и сообщества составляют рейтинги надёжности не только на основе регулярных технических осмотров, обращений в страховые компании и анкетирования автовладельцев, но и с учётом фактических ремонтов, зафиксированных в рамках технической помощи на дорогах, что позволяют оценивать изменение надёжности автомобилей по мере эксплуатации с высокой степенью достоверности и отслеживать тенденции по совершенствованию эксплуатационных свойств в зависимости от модельных годов выпуска, обновлений и преемственности поколений. В этой связи, результаты исследований по прогнозированию эксплуатационных расходов легковых автомобилей на основе статистических данных об отказах и долговременных наблюдениях могут быть использованы в качестве объективных индикаторов для определения оптимального срока эксплуатации новых автомобилей и аргументированной оценки потенциальных затрат на техническое обслуживание и ремонт при покупке автомобилей с пробегом на вторичном рынке.*

Ключевые слова: *прогнозирование, надёжность, автомобили с пробегом, отказ, статистические данные, эксплуатационные затраты.*

Неудовлетворение спроса на новые автомобили из-за прерывания технологических процессов, нарушения логистических цепочек и роста стоимости материалов при производстве положительно отражается на продажах автомобилей с пробегом. В России в 2021 году объём рынка автомобилей с пробегом составил 5,95 млн что на 8% больше, чем в 2020 году [1]. В этой связи, исследования, направленные на прогнозирование эксплуатационных расходов легковых автомобилей на основе статистических данных об отказах и долговременных наблюдениях для разработки объективных индикаторов по определению оптимального срока эксплуатации новых автомобилей и аргументированной оценки потенциальных затрат на техническое обслуживание и ремонт при покупке автомобилей с пробегом на вторичном рынке, актуальны [1–3]. Оценка технического состояния подержанных автомобилей предполагает обработку массива данных об отказах и неисправностях, возникающих при исследовании одинаковых моделей, эксплуатируемых в сопоставимых условиях на протяжении длительного времени. Однако, данная задача не всегда может быть решена из-за отсутствия единой базы данных по техническим воздействиям с указанием эксплуатационных параметров, дат возникновения отказов и заменённых деталей, корректное формирование которой затруднено ввиду значимых отличий в климатических условиях эксплуатации, методах обслуживания, способах приобретения, назначении и других особенностях применения автомобилей

индивидуального пользования. Вместе с тем, размер эксплуатационных расходов на основе статистических данных об отказах и долговременных наблюдениях могут быть сформированы на основе регулярных технических осмотров, обращений в страховые компании и анкетирования автовладельцев с учётом фактических ремонтов, зафиксированных в рамках технической помощи на дорогах, что позволяет оценивать изменение надёжности автомобилей по мере эксплуатации с высокой степенью достоверности и отслеживать тенденции по совершенствованию эксплуатационных свойств в зависимости от модельных годов выпуска, обновлений и преемственности поколений (Табл. 1).

Таблица 1 – Рейтинги надёжности легковых автомобилей

Наименование организации	Страна	Описание
TÜV. Ассоциация технического надзора	Германия	Технический осмотр, детальная аналитика по отчетам технических экспертов
DEKRA. Немецкая ассоциация инспекции транспортных средств	Германия	Анализ надёжности автомобилей с пробегом на основе отказов. Отчёты о надёжности
ADAC. Организация автомобилистов Германии	Германия	Техническая, информационная и юридическая помощь автомобилистам
Warranty Direct. Аналитическое агентство	Велико-британия	Сбор и анализ выплат по страховым ремонтам
Driver Power. Экспертные отчёты	Велико-британия	Рейтинг надёжности на основе анкетирования
Consumer Reports. Независимая организация	США	Анализ данных на основе анкетирования автовладельцев
J.D. Power. Маркетинговое агентство	США	Сбор и анализ статистики отказов

Подобными исследованиями занимаются автомобильные экспертные агентства, сообщества и специальные организации, которые ежегодно публикуют отчёты о выявленных неисправностях и дефектах. Одним из наиболее авторитетных рейтингов являются результаты анализа надёжности организации автомобилистов ADAC, которая ежегодно фиксирует более 3 млн. обращений [2]. Методика сбора данных включает только те отказы, при которых дальнейшая поездка невозможна. Если автомобиль все еще может подъехать к мастерской в аварийном режиме, это не будет считаться отказом и эти случаи не отображаются в статистике. Таким образом, база данных значительно отличается от баз данных других служб аудита, поскольку сервис автомобиля представляет собой запланированное действие и многие владельцы сознательно откладывают устранение каких-либо неисправностей до планового технического обслуживания, где данные недостатки учитываются иначе либо вовсе не попадают в общую выборку.

Анализ отчётов ADAC за последние 10 лет показал, что в последние годы техника двигателей и систем впрыска значительно улучшилась, что положительно отражается на динамике снижения отказов этой группы, что также относится и к новым электронным системам зажигания, где более не используются высоковольтные провода и коллекторы, которые подвержены износу и влажности (Рис. 1).



Рис. 1 – Распределение отказов по системам и компонентам

Однако, из-за чрезвычайно возросшего числа потребителей электроэнергии, особенно электронных, блоки управления которых могут потреблять электроэнергию даже после выключения зажигания, возросло количество отказов аккумуляторных батарей, что в очередной раз указывает на необходимость применения систем управления зарядом и соблюдения рекомендаций заводов-изготовителей о необходимости дополнительного заряда батарей при длительных простоях или малой интенсивности эксплуатации. Относительно мало изменилось в кузове, шасси, рулевом управлении и тормозной системе, конструкция и составные компоненты которых при переходе к новым моделям меняются незначительно. Выхлопные системы на новых автомобилях изготовлены из нержавеющей стали и, как правило, в случае отсутствия внешних механических повреждений не требуют применения технических воздействий на протяжении всего жизненного цикла автомобиля. В качестве индикатора для сравнения надёжности исследуемых автомобилей в ADAC используется показатель количества отказов на 1000 автомобилей в зависимости от модельного года [2]. Анализ отчётов показал, что изменение количества отказов в зависимости от срока эксплуатации автомобиля в рамках категорий надёжности с достаточной точностью описывается экспоненциальной моделью следующего вида:

$$N_A = a \cdot e^{-bx}$$

где  $N_A$  – среднее количество отказов, 1/1000 ед.;

$a, b$  – параметры модели

$x$  – модельный год выпуска автомобиля.

На основе общей выборки определяются границы 4-х категорий надёжности, превышение отказов по которым указывает на наличие конструктивных особенностей, негативно отражающихся на эксплуатационных расходах.

Параметры модели по категориям надёжности в зависимости модельного года установлены на основе MS Excel. Таким образом, чем старше автомобиль, тем больше влияние владельца и методов обслуживания на количество отказов (Рис. 2).

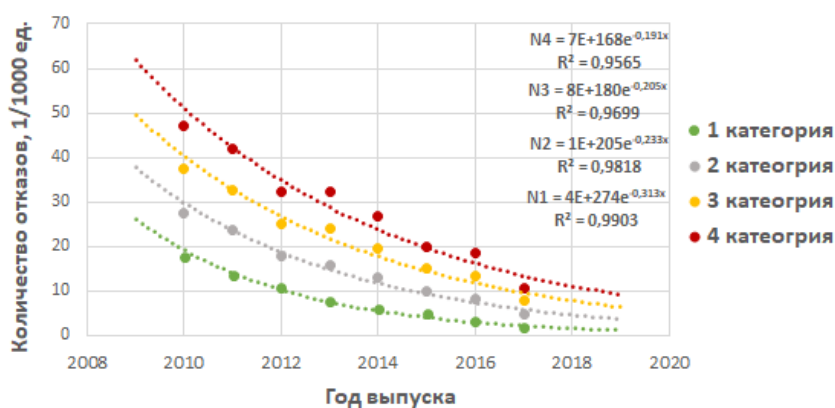


Рис. 2 – Распределение отказов по категориям надёжности



Полученные результаты могут быть использованы в качестве объективных индикаторов для определения оптимального срока эксплуатации новых автомобилей и аргументированной оценки потенциальных затрат на техническое обслуживание и ремонт при покупке автомобилей с пробегом на вторичном рынке.

#### **Список литературы**

1. Рынок автомобилей с пробегом в 2021 году вырос на 8% [Электронный ресурс].//URL:<https://www.autostat.ru/news/50601/>(дата обращения: 28.01.2022)
2. Pannenstatistik 2021: Der Streik der Starterbatterien [Электронный ресурс].//URL:<https://www.adac.de/>(дата обращения: 28.01.2022)
3. *Конев В.В.* Оптимизация тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / В. В. Конев, Ш. М. Мерданов // Материалы Национальной научно-практической конф.: Нефть и газ: технологии и инновации. – 2020. – С. 194–196.

05.13.01

<sup>1</sup>Н.С. Захаров д-р техн. наук, <sup>1</sup>Н.О. Сапоженков канд. техн. наук,  
<sup>1</sup>А.А. Панфилов канд. техн. наук, <sup>1</sup>В.С. Петров, <sup>2</sup>В.А. Ракитин

<sup>1</sup>Тюменский индустриальный университет,  
Институт Транспорта,  
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,  
Тюмень, satm\_tsogu@mail.ru,  
<sup>2</sup>Тюменский государственный университет,  
кафедра информационной безопасности,  
Тюмень

### **ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА УРОВЕНЬ ЗАРЯЖЕННОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ**

*Устойчивый рост количества и мощности потребителей электроэнергии на современных автомобилях при снижении средней скорости движения в городе и тенденциях к замещению части поездок на основе новых средств мобильности способствуют снижению уровня заряженности аккумуляторных батарей. К повышенному электропотреблению дополнительного оборудования во время пуска двигателя и прогрева салона при малой интенсивности эксплуатации добавляется мощность новых электронных блоков управления, работа которых требуется в определённых режимах для сбора данных о параметрах работы бортовых систем даже после выключения зажигания. Поэтому восполнение заряда от генератора на фоне внедрения электронных систем и устройств, повышающих комфорт и безопасность, занимает больше времени и требует применения дополнительных систем по контролю электропотребления, что предопределяет необходимость анализа закономерностей изменения мощности электропотребителей для совершенствования методов заряда аккумуляторных батарей при малой интенсивности эксплуатации.*

Ключевые слова: *прогнозирование, надёжность, уровень заряженности, мощность электрооборудования, статистические данные, эксплуатационные затраты.*

Суммарная сила тока электропотребителей на автомобиле определяется на основе количества, мощности и характера использования электрооборудования [1–5], при этом мощность задействованных потребителей не остаётся постоянной. В методиках расчётах систем электроснабжения используются фиксированные значения параметров работы электрооборудования, необходимого для безопасной эксплуатации автомобиля в зависимости от режимов движения, наиболее распространёнными из которых являются поездки в дневное и ночное время в городе и по шоссе, в летний либо зимний период. Сила тока потребителей определяется на основе табличных значений коэффициентов времени использования в выбранном режиме эксплуатации. Вместе с тем, такой подход не в полной мере учитывает реальное электропотребление дополнительного оборудования, поэтому для более точного описания характера изменений тока потребителей при кратковременных режимах движения в зимний период требует уточнения.

Пуск ДВС характеризуются высоким электропотреблением систем подогрева в начальные периоды с последующим резким уменьшением токовой нагрузки по мере прогрева. Подогреваемые каталитические нейтрализаторы требуют дополнительной мощности порядка 1–4 кВт с целью достижения рабочих температур свыше 300°C в пределах 10–30 с. после начала движения автомобиля, а время работы дополнительного насоса подачи воздуха для дожигания выпускаемых отработавших газов с момента пуска ДВС может достигать 200 с. [1] (Рис. 1). По продолжительности действия, среди потребителей тока выделяют основные,

которые задействованы постоянно и обеспечивают работу ДВС, а также длительные и кратковременные, включаемые в зависимости от интенсивности эксплуатации и климатических условий.

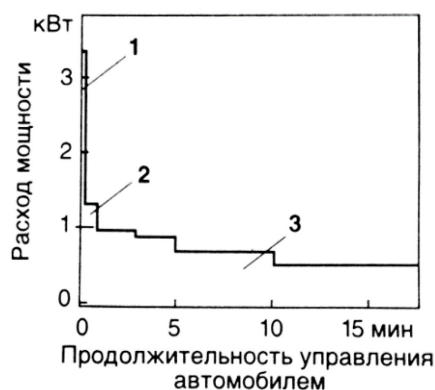


Рис. 1 – Мощность электропотребителей:  
 1 – нагреватель каталитического нейтрализатора;  
 2 – дополнительный насос подачи воздуха;

3 – обогреватель, вентилятор, система управления работой ДВС и т.п. [1]

Проведенные исследования показали, что мощность электрических систем по обеспечению комфорта и безопасности движения существенно зависит от интенсивности эксплуатации. В начальный период после пуска ДВС мощность длительных и кратковременных потребителей максимальна, что связано с необходимостью интенсивного обдува стёкол и быстрого прогрева салона для начала движения, а по мере прогрева салона уменьшается до установившихся значений, соответствующих долговременной эксплуатации в заданном режиме (Рис. 2).

Основные потребители	Система зажигания 20 Вт	Система впрыска топлива 50..70 Вт	Управление двигателем 10 Вт	Топливный насос 50..70 Вт
Длительные потребители	Аудисистема 10..15 Вт	Автономный отопитель 20..60 Вт	Вентилятор салона 80 Вт	Стеклоочиститель 60..90 Вт
	Подогрев переднего стекла 40..120 Вт	Подогрев зеркал заднего вида по 15..25 Вт	Подогрев заднего стекла 120 Вт	Подогрев сидений по 50..100 Вт
	Фары ближнего света по 55 Вт	Освещение номерного знака по 5 Вт	Габаритные огни по 5 Вт	Противотуманные фары по 35..55 Вт
Кратковременные потребители	Фары дальнего света по 55 Вт	Стартер 800..3000 Вт	Фонари заднего хода по 25 Вт	Свечи накаливания по 100 Вт
	Стоп - сигналы по 21 Вт	Подсветка салона по 2 Вт	Омыватель стекол 50..80 Вт	Омыватели фар по 60 Вт
	Стеклоподъемники по 150 Вт	Электропривод замков дверей по 20 Вт	Электропривод сидений по 140 Вт	Электропривод антенны 60 Вт
	Электропривод зеркал заднего вида 50 Вт	Звуковой сигнал 25..100 Вт	Прикуриватель 100 Вт	

Рис. 2 – Средняя мощность электропотребителей легковых автомобилей

Как правило, на потребителях длительного действия, таких как вентилятор отопителя, подогревы сидений, стекол и зеркал, конструктивно предусмотрены регуляторы мощности, поэтому начальная фаза изменения силы тока уменьшается с повышением температуры, и, наоборот, увеличиваться при её понижении. Для таких случаев модель изменения силы тока потребителей в зависимости от времени после пуска ДВС и температуры окружающего воздуха можно описать функцией арктангенса:

$$I_p(I_0, T, t) = I_0 + \frac{DI(T)}{\pi} \cdot \arctan\left(\frac{t + cT}{a} - b\right), \quad (1)$$

где  $I_p$  – сила тока потребителей, А;

$I_0$  – сила тока основных потребителей, А;

$T$  – температура ДВС перед пуском, °С;

$t$  – время работы ДВС после пуска, мин;

$DI(T)$  – функция, определяющая характер изменения тока дополнительных и кратковременных потребителей;

$a, b, c$  – параметры модели.

При определении параметров модели влияния температуры окружающего воздуха и времени эксплуатации автомобиля после пуска ДВС на мощность потребителей использовалась информация заводов-изготовителей о параметрах работы составных элементов систем на исследуемых автомобилях, и фактические данные, полученные в однотипных режимах движения при различных температурах окружающего воздуха. Несмотря на то, что экспериментальные данные указывают на очевидную связь температуры окружающего воздуха и силы тока потребителей, влияние времени работы автомобиля после пуска на силу тока потребителей не столь однозначно. Суммарный ток подогрева лобового стекла, подогрева заднего стекла и подогрева сидений превышает 20А, что на некоторых автомобилях соответствует увеличению тока потребителей в 1,7 и более раз, при этом нельзя однозначно утверждать, что данные приборы включаются после каждого пуска ДВС [3]. Поэтому при прочих равных условиях сила тока потребителей будет зависеть от характера и продолжительности использования электроприборов, изменяющихся случайным образом. Для уменьшения влияния факторов субъективного восприятия на изменение силы тока потребителей, во время эксперимента на вентиляторе отопителя был задействован автоматический режим работы, подогревы сидений, руля, лобового стекла, боковых зеркал и заднего стекла включались по мере снижения температуры окружающего воздуха. Параметры модели влияния температуры окружающего воздуха и продолжительности работы автомобиля после пуска ДВС на силу тока потребителей в этом случае:

$$I_p = 2,944 \cdot \arctan(-0,0625 \cdot T_g - 0,01) + 3,263 \cdot \arctan(1,5 - 0,2 \cdot t_{as} - 0,18 \cdot T_g) + 1,874 \cdot \arctan(-0,0625 \cdot T_g - 0,01) \cdot \arctan(1,5 - 0,2 \cdot t_{as} - 0,18 \cdot T_g) + 25,125, A \quad (2)$$

В графическом виде модель представлена на рис. 3.

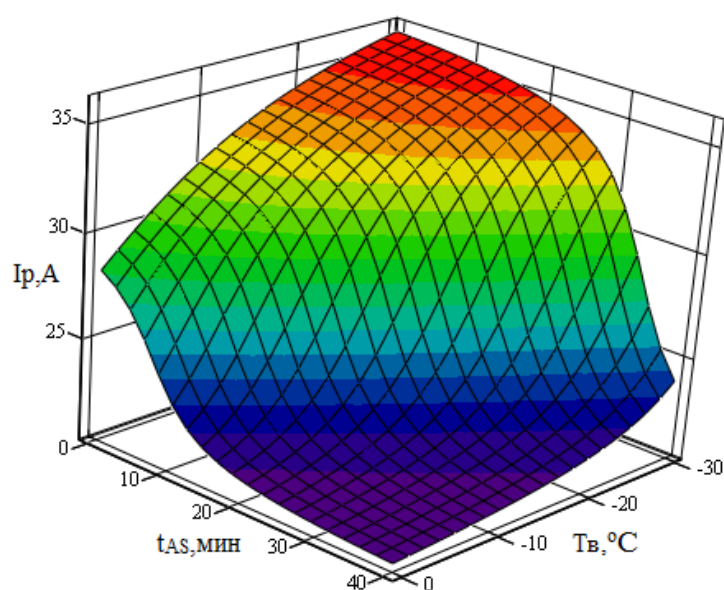


Рис. 3 – Модель формирования силы тока потребителей

Статистические характеристики модели приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические характеристики математической модели

Наименование характеристики	Численные значения
Дисперсионное отношение Фишера	3,82
Критерий Фишера $F_{0,95}$	3,79

Таким образом, результаты исследования могут быть использованы для разработки новых и совершенствования существующих методов обеспечения заряда аккумуляторных батарей, что позволит снизить затраты и повысить экономические показатели эксплуатации автомобилей.

#### **Список литературы**

1. Автомобильный справочник [Текст] / Пер. с англ. – Москва: За рулем, 1999. – 896 с.
2. *Конев В.В.* Оптимизация тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / В. В. Конев, Ш. М. Мерданов // Материалы Национальной научно-практической конф.: Нефть и газ: технологии и инновации. – 2020. – С. 194–196.
3. *Сапоженков Н.О.* Влияние уровня заряженности аккумуляторной батареи на пуск двигателя легковых автомобилей в зимний период [Текст] / Н.О. Сапоженков // Материалы Международной научно-технической конф.: Новые технологии – нефтегазовому региону. – 2016. – С. 253–256.
4. *Сапоженков Н.О.* Методы оценки фактической ёмкости автомобильных аккумуляторных батарей при отрицательных температурах [Текст] / Н. О. Сапоженков // Материалы Международной научно-техн. конф.: Новые технологии – нефтегазовому региону. – 2016. – С. 256–260.
5. *Захаров Н.С.* Определение оптимальной периодичности заряда автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков // Материалы Международной научно-технической конф.: ТТС. – 2016. – С. 134–139.

05.13.01

<sup>1</sup>Н.С. Захаров д-р техн. наук, <sup>1</sup>Н.О. Сапоженков канд. техн. наук, <sup>1</sup>В.С. Петров,  
<sup>2</sup>В.П. Назаров канд. техн. наук., <sup>3</sup>В.А. Ракитин

<sup>1</sup>Тюменский индустриальный университет,  
Институт Транспорта,  
кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,

Тюмень, satm\_tsogu@mail.ru,

<sup>2</sup>Югорский государственный университет,  
Институт нефти и газа,

Ханты-Мансийск, ing@ugrasu.ru,

<sup>3</sup>Тюменский государственный университет,  
кафедра информационной безопасности,

Тюмень

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАРЯДА АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ**

*Конструкция свинцово-кислотных аккумуляторных батарей соответствует требованиям надёжности, безопасности и экологичности при оптимальных показателях стоимости производства и утилизации. Вместе с тем, условия и интенсивность эксплуатации автомобилей варьируют в широких пределах, а особенности электрохимических процессов внутри аккумуляторов отличаются эффективностью только в положительных диапазонах температур при определённых параметрах заряда/разряда, отклонение от оптимальных значений которых негативно сказывается на уровне заряженности и приводит к преждевременным отказам систем электростартерного пуска, блоков управления и других элементов дополнительного электрооборудования, чувствительных к перепадам напряжения. В этой связи, исследования, направленные на изучение закономерностей формирования уровня заряженности аккумуляторных батарей и совершенствования методов обеспечения их заряда для повышения показателей надёжности автомобилей и снижения эксплуатационных затрат, актуальны.*

Ключевые слова: *Прогнозирование, надёжность, свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, уровень заряженности, отказ, статистические данные, эксплуатационные затраты.*

По данным авторитетного экспертного агентства ADAC в 2020 среди участников организации в Германии суммарно было зафиксировано 3,386 миллиона отказов, что на 10% меньше, чем в 2019 году [1]. Введение ограничений на передвижение и недельные простои отразились на увеличении отказов аккумуляторных батарей, доля которых превысила 46,3% от общего числа обращений в сравнении с 41,8% в 2019 году [1]. Анализ популярной темы надёжности электромобилей также подтвердил, что доля отказов 12-вольтовых бортовых аккумуляторов из-за разряда и неисправностей на 8% превышает аналогичную группу отказов на автомобилях с ДВС и составляет 54% (Рис. 1).

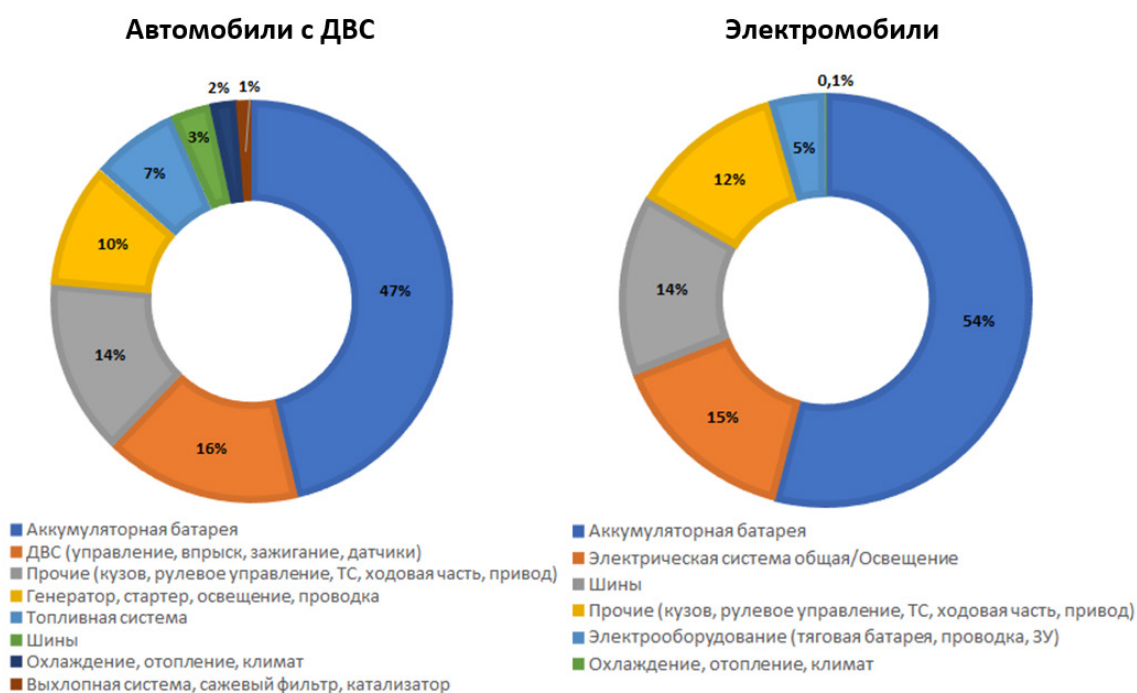


Рис.1 – Распределение отказов по системам автомобилей [1]

Стоит отметить, что для начала работы электромобиля, как и в любом автомобиле, требуется бортовой аккумулятор для открытия дверей и подключения высоковольтной тяговой батареи, так как бортовая электроника, свет и информационно-развлекательные системы также работают от напряжения в 12 вольт (Табл. 1).

Таблица 1– Анализ отказов автомобилей в ADAC с 1998 по 2018 год [1]

Группы деталей	1998 г.	2018 г.	Δ, %
1	2	3	4
Аккумуляторная батарея	17,3	42	143
Двигатель (управление, впрыск, зажигание, датчики)	32,5	19	-42
Прочие (кузов, рулевое управление, тормоза, ходовая часть, привод)	13,5	14,3	6
Генератор, стартер, освещение, проводка	12,7	10,1	-20
Шины	6,8	7	3
Топливная система	6,6	4	-39
Охлаждение, отопление, климат	8,4	2,4	-71
Выхлопная система, фильтр для частиц, катализатор	2,2	1,2	-45

Чаще всего тяговая батарея в днище кузова подает электричество под напряжением 400 вольт, а на спортивных электромобилях, таких как Porsche Taycan, рабочее напряжение достигает 800 вольт. Однако, при разряде 12-вольтовой батареи бортовая электроника отключается, двери остаются закрытыми, а заряженная высоковольтная система переходит в неактивное состояние. Отказы систем электромобилей, таких как аккумулятор, электродвигатель или устройство заряда, случаются редко и не превышают 5% от общего числа [1–4], вместе с тем, в статистике оцениваются электромобили более поздних годов выпуска относительно автомобилей с ДВС, поэтому среднее количество отказов из-за износа и старения составных элементов в перспективе может увеличиться и распределиться по системам иным образом. Статистические данные за 10 лет наблюдений подтверждают, что доля отказов аккумуляторных батарей имеет устойчивую тенденцию к увеличению из-за повышения мощности электрооборудования и изменения режимов эксплуатации на фоне повышения надёжности составных элементов других систем (Рис. 2).



Рис.2 – Распределение отказов аккумуляторных батарей [1]

Распределение отказов аккумуляторных батарей в зависимости от года выпуска автомобилей показывает, что количество отказов увеличивается после 5 лет эксплуатации. Для разработки рекомендаций по дополнительному заряду требуется уточнить показатели интенсивности эксплуатации исследуемых автомобилей (Рис. 3).

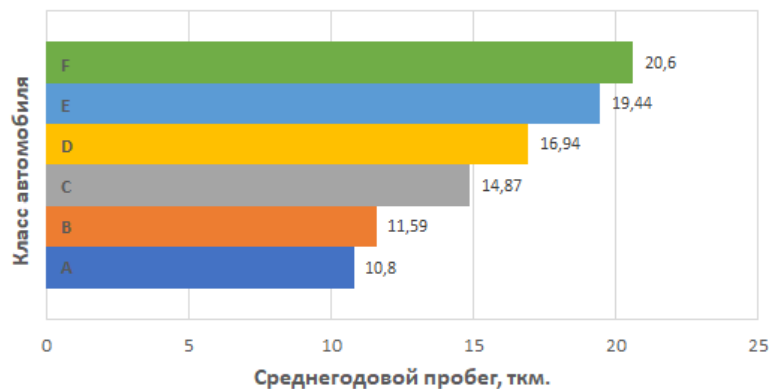


Рис. 3 – Среднегодовой пробег исследуемых автомобилей

Анализ отчётов ADAC подтвердил закономерность распределения среднегодовых пробегов, которая свидетельствует о том, что интенсивность эксплуатации легковых автомобилей индивидуального пользования увеличивается по мере повышения класса, и, в сравнении автомобилей малого класса А и представительского F, может различаться почти в 2 раза.

Для разработки рекомендаций по заряду аккумуляторных батарей на основе критического уровня заряженности может быть использована модель влияния температуры окружающего воздуха и среднесуточного пробега автомобиля на уровень заряженности АКБ:

$$C_3 = - \frac{1177 \cdot T_6^2 \cdot e^{-0,005lcc} - 27384 \cdot T_6 - 323820 \cdot lcc^{0,094} + 5960 \cdot T_6 \cdot \ln(lcc) + 20000}{1,49 \cdot 10^7 \cdot lcc^{2,384 \cdot T_6} \cdot e^{-129,528 \cdot lcc^{0,094}} \cdot e^{-10,9536 \cdot T_6} \cdot e^{0,4708 \cdot T_6^2 \cdot e^{-0,005 \cdot lcc}} + 5000}, \quad (1)$$

где  $C_3$  – установившийся уровень заряженности батареи, %

$T_6$  – температура окружающего воздуха, °С

$lcc$  – среднесуточный пробег, км.

В графическом данная модель влияния температуры окружающего воздуха и среднесуточного пробега автомобиля на уровень заряженности АКБ представлена на рисунке 4.



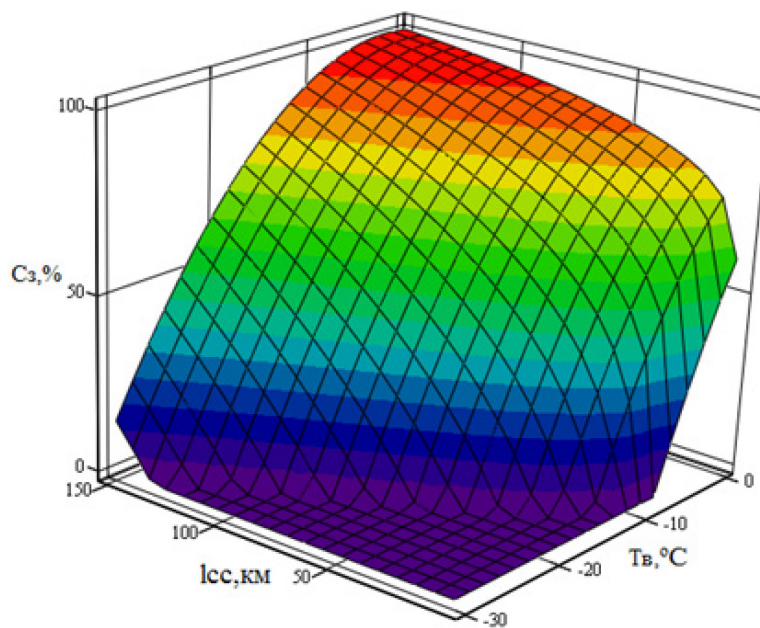


Рис. 4 – Модель уровня заряженности аккумуляторных батарей

Результаты моделирования подтверждают результаты аналитических исследований и хорошо согласуются с данными об изменении уровня заряженности АКБ при эксплуатации автомобилей, изложенными в работах других исследователей. Расчётные значения дисперсионного отношения Фишера больше табличного значения с вероятностью 0,95, что свидетельствует об адекватности модели экспериментальным данным и подтверждает выдвинутые гипотезы.

Таким образом, применение полученных результатов позволяет конкретизировать рекомендации заводов-изготовителей о необходимости дополнительного заряда при недостаточной интенсивности эксплуатации, что способствует повышению ресурса аккумуляторных батарей и снижению затрат на техническое обслуживание и ремонт.

#### Список литературы

1. Pannenstatistik 2021: Der Streik der Starterbatterien [Электронный ресурс]. //URL: <https://www.adac.de/> (дата обращения: 28.01.2022)
2. Конев В.В. Оптимизация тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / В. В. Конев, Ш. М. Мерданов // Материалы Национальной научно-практической конф.: Нефть и газ: технологии и инновации. – 2020. – С. 194–196.
3. Сапоженков Н.О. Влияние уровня заряженности аккумуляторной батареи на пуск двигателя легковых автомобилей в зимний период [Текст] / Н.О. Сапоженков // Материалы Международной научно-технической конф.: Новые технологии – нефтегазовому региону. – 2016. – С. 253–256.
4. Сапоженков Н.О. Методы оценки фактической ёмкости автомобильных аккумуляторных батарей при отрицательных температурах [Текст] / Н. О. Сапоженков // Материалы Международной научно-технической конф.: Новые технологии – нефтегазовому региону. – 2016. – С. 256–260.

05.13.01

**А.А. Кораблева, А.С. Полякова, Л.В. Липинский, Н.В. Ковбаса**

Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М. Ф. Решетнева,  
институт информатики и телекоммуникаций,  
кафедра системного анализа и исследования операций,  
Красноярск, alkorableva1998@gmail.com

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЭВОЛЮЦИИ САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ АЛГОРИТМОВ**

*Исследуется эффективность коэволюции, в схему которой включены алгоритмы с процедурой самонастройки генетических операторов. Проводится анализ изменения вероятностей применения генетических операторов, а также исследуются результаты тестирования предложенного подхода на тестовых функциях оптимизации, производится подсчет дисперсии полученных выборок и проверка их статистической значимости.*

Ключевые слова: *коэволюция, самонастройка, генетические операторы, экстремум функции, дисперсия, критерий Уилкоксона.*

#### **Введение**

Эволюционные алгоритмы (ЭА) являются наиболее известными методами решения сложных задач оптимизации. И хотя они достаточно успешно решают многие проблемы оптимизации, производительность этих методов сильно зависит от выбора настроек их параметров. Таким образом, для того, чтобы повысить эффективность ЭА, пользователи вынуждены выполнять неоднократные запуски алгоритма с перебором настроек под каждую исследуемую задачу. Что несомненно затрачивает время и компьютерные мощности, которые не всегда могут быть в достаточном количестве.

В качестве решения таких проблем может выступать автоматизация конфигураций ЭА. В настоящий момент времени насчитывается большое количество подходов автоматизации выбора настроек ЭА и наиболее перспективными из них являются коэволюционные алгоритмы (КА) и вероятностные процедуры самонастройки [1].

Тем самым в данной работе предполагается, что модификация коэволюционного алгоритма путем добавления процедур самонастройки генетических операторов, а именно селекции, скрещивания и мутации, позволит усовершенствовать исследуемый подход решения сложных задач оптимизации, а также сэкономить вычислительные ресурсы пользователя.

#### **Процедура самонастройки**

В качестве исследуемой процедуры самонастройки был взят метод *AvgFit*, работающий следующим образом: происходит поддержка того оператора, в результате которого была достигнута наибольшая суммарная пригодность на текущем поколении.

На первом этапе необходимо задать начальные вероятности применения оператора:

$$p_i = \frac{1}{z},$$

где  $z$  – это число различных операторов  $k$ -го типа.

Оценка эффективности каждого оператора каждого типа рассчитывается в соответствии с усредненным значением пригодности:

$$AvgFit_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} f_{ij}}{\sum_{i=1}^{n_i} used_i}, i = 1, 2, \dots, z,$$

где  $n_i$  – количество потомков, сформированных при участии  $i$ -го оператора,  $f_{ij}$  – пригодность  $j$ -го потомка, построенного при участии  $i$ -го оператора,  $AvgFit_i$  – средняя пригодность решений, построенных при помощи  $i$ -го оператора.

Затем, вероятность применения оператора, чье значение  $AvgFit_i$  является наибольшим среди всех операторов данного вида, увеличивается на величину  $\frac{(z-1)K}{zN}$ , а вероятности применения оставшихся операторов уменьшаются на  $\frac{K}{zN}$ , где  $N$  – это число поколений алгоритма и  $K$  – константа равная 0.5 [2].

### Методика

Процедура самонастройки применяется к генетическому алгоритму (ГА), который входит в состав КА. В общем виде работу генетического алгоритма можно представить следующим образом [3]:

1. Инициализировать случайным образом популяцию решений (индивидов);
2. Для каждого индивида из популяции вычислить функцию пригодности, являющуюся некоторой количественной оценкой качества решения поставленной задачи;
3. С помощью оператора селекции выбрать часть популяции (родителей) для порождения потомков;
4. Применить оператор скрещивания;
5. Новые решения (потомки) подвергнуть мутации;
6. Сформировать новую популяцию: выбрать решения из родителей и потомков;
7. Повторять шаги 2 – 6 пока не выполнится условие остановки.

При чем тип операторов селекции, скрещивания и мутации исследователем не назначается, а генерируется в соответствии с вышеописанным методом самонастройки  $AvgFit$ . Согласно ему, на каждой итерации алгоритма подсчитываются вероятности применения каждого типа оператора.

Стоит отметить, что в данном исследовании у каждого оператора по три типа: селекция – турнирная, пропорциональная и ранговая; скрещивание – одноточечное, двухточечное и равномерное, мутация – слабая, средняя и сильная.

По итогу, несколько таких самонастраивающихся генетических алгоритмов включаются в состав коэволюции и происходит их взаимная эволюция.

Детальное описание каждого из типов операторов генетического алгоритма и подробное описание КА можно найти в работе [3].

### Экспериментальная часть

Проведем исследования эффективности работы КА и ГА с самонастройкой и без таковой. Тем самым каждый алгоритм был запущен 30 раз на 2 тестовых функциях для оптимизации: Шаффера и Эллиптический параболоид [4].

Вычислительные ресурсы для алгоритмов составили 10000 вычислений целевой функции, 100 индивидов на 100 поколений.

Было протестировано две схемы КА с разным количеством индивидуальных алгоритмов в их составе. В первую схему было добавлено три алгоритма ГА по 33 индивида в каждом, во вторую схему четыре алгоритма ГА по 25 индивидов в каждом. И за один запуск КА всего было произведено 10 перераспределений ресурсов каждые 10 итераций.

Согласно исследованиям, полученным в работе [4], для КА также были заданы следующие параметры: “социальная карточка” 10%, штраф 10% от размера подпопуляции. Стратегия перераспределения ресурсов в КА была установлена в соответствии с результатами, полученными в работе [5], а именно победившая подпопуляция, согласно размеру штрафа, получает новых случайно сгенерированных индивидов. Проигравшая подпопуляция также сокращается на случайно выбранных индивидов.

В таблице 1 можно увидеть результаты проведенного тестирования, где для КА и ГА с самонастройкой и без нее приводится среднее арифметическое значений оптимума из 30 запусков, цветом выделен лучший оптимум функции, в смысле минимума.

Таблица 1 – Среднее значение оптимума за 30 запусков алгоритма

	Название функции	
	Шаффера	Эллиптический параболоид
ГА без самонастройки	0.03282	0.03576
ГА с самонастройкой	0.07117	0.00101
КА без самонастройки (3 алг.)	0.00365	0.00006
КА без самонастройки (4 алг.)	0.00558	0.00004
КА с самонастройкой (3 алг.)	0.01725	0.00084
КА с самонастройкой (4 алг.)	0.02801	0.00216

Таким образом, на обоих тестовых функциях КА с самонастройкой методом *AvgFit* показывает результаты лучше, чем ГА.

Посмотрим разброс оптимума за 30 запусков алгоритма относительно среднего значения. В таблице 2 представлены значения дисперсии полученных выборок.

Таблица 2 – Дисперсия значений оптимума за 30 запусков алгоритма

	Название функции	
	Шаффера	Эллиптический параболоид
ГА без самонастройки	0.00752	0
КА без самонастройки (3 алг.)	0.00012	0
КА без самонастройки (4 алг.)	0.00010	0
ГА с самонастройкой	0.01369	0
КА с самонастройкой (3 алг.)	0.00064	0.00001
КА с самонастройкой (4 алг.)	0.00080	0.00002

Чем меньше показатель дисперсии, тем лучше, т.е. алгоритм с меньшей вероятностью получит результат, сильно отличающийся от эффективного и будет более стабильно работать.

Цветом в таблице 2 выделены наименьшие показатели дисперсии. Таким образом, КА с самонастройкой показывает относительно небольшой показатель дисперсии.

Согласно критерию Уилкоксона определим относятся ли выборки к одной генеральной совокупности.

Результаты при уровне значимости 0.05 критерия Уилкоксона приведены в таблице 3. Если полученное значение меньше или равно 0.05, то признается статистическая значимость различий показателя [6].

Таблица 3 – Сравнение среднего значения оптимума функций по критерию Уилкоксона при уровне значимости 0.05

Номер функции		ГА	3КА	4КА	ГА <i>AvgFit</i>	3КА <i>AvgFit</i>	4КА <i>AvgFit</i>
1	ГА	-	0	0	0.74	0.29	0.36
	3КА	0	-	0.37	0.01	0	0
	4КА	0	0.37	-	0.04	0.01	0
	ГА <i>AvgFit</i>	0.74	0.01	0.04	-	0.37	0.25
	3КА <i>AvgFit</i>	0.29	0	0.01	0.37	-	0.2
	4КА <i>AvgFit</i>	0.36	0	0	0.25	0.2	-
2	ГА	-	0.02	0.00	0	0	0
	3КА	0.02	-	0.19	0	0	0
	4КА	0	0.19	-	0	0	0
	ГА <i>AvgFit</i>	0	0	0	-	0.49	0.56
	3КА <i>AvgFit</i>	0	0	0	0.49	-	0.32
	4КА <i>AvgFit</i>	0	0	0	0.56	0.32	-

Для удобства восприятия полученных результатов, введем следующие сокращения для конфигураций алгоритмов, учтем также количество добавленных индивидуальных алгоритмов в состав КА:

- 1) ГА, ЗКА и 4КА – генетический алгоритм и коэволюция с тремя и четырьмя алгоритмами в ее составе без процедуры самонастройки;
- 2) ГА *AvgFit*, ЗКА *AvgFit*, 4КА *AvgFit* – генетический алгоритм и коэволюция с тремя и четырьмя алгоритмами с самонастройкой методом *AvgFit*.

А также каждой функции был присвоен порядковый номер:

- 1) Шаффера;
- 2) Эллиптический параболоид.

Таким образом, в таблице 3 цветом выделены значения, между которыми наблюдаются значимые различия. Согласно критерию Уилкоксона на обоих исследуемых функциях не наблюдается разницы между тем сколько индивидуальных алгоритмов (3 или 4) включать в состав КА. Также на обоих функциях ГА и КА с самонастройкой методом *AvgFit* показывают схожие значения оптимума и значимых различий между ними нет.

На функции Эллиптический параболоид обычный ГА значительно отличается от всех, при этом показывая худшее значение оптимума, поэтому его не рекомендуется использовать.

Рассмотрим примеры, демонстрирующие изменение вероятностей применения операторов в процессе работы алгоритма, приведем графики, построенные при оптимизации функции Эллиптического параболоида.

Изменение вероятностей применения оператора селекции представлено на рисунке 1.

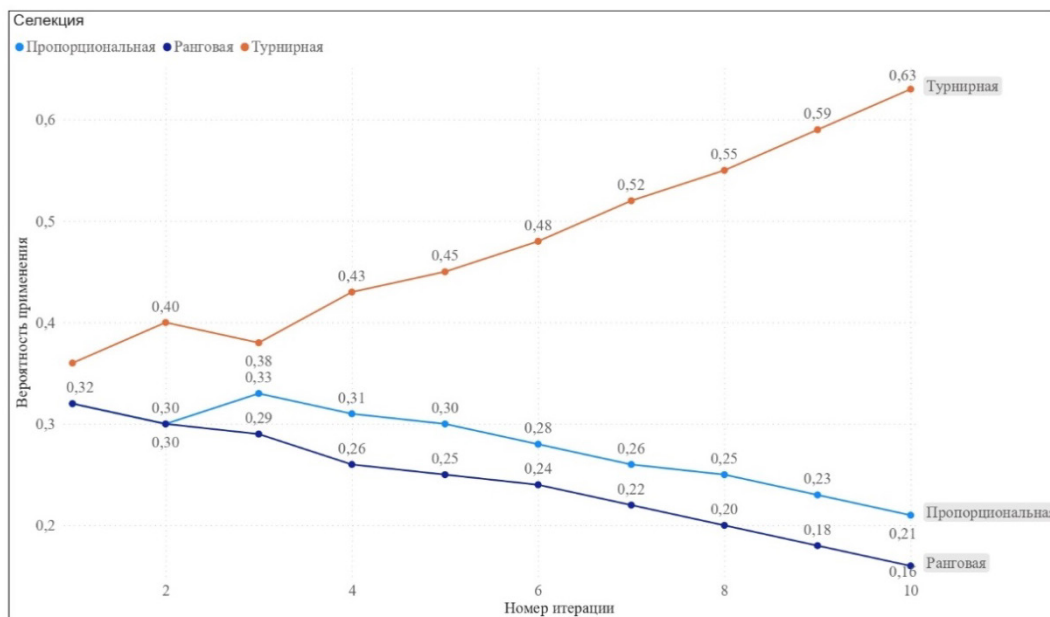


Рис. 1 – График изменения вероятностей применения операторов селекции (турнирной, пропорциональной, ранговой)

Из рисунка 1 можно увидеть, что турнирная селекция получила большую часть вероятности и стала доминировать над двумя другими типами.

На рисунке 2 изображен график для оператора скрещивания. Равномерное скрещивание доминирует над другими, а одноточечное и двухточечное скрещивания были равными по эффективности с 1 по 8 итерации.

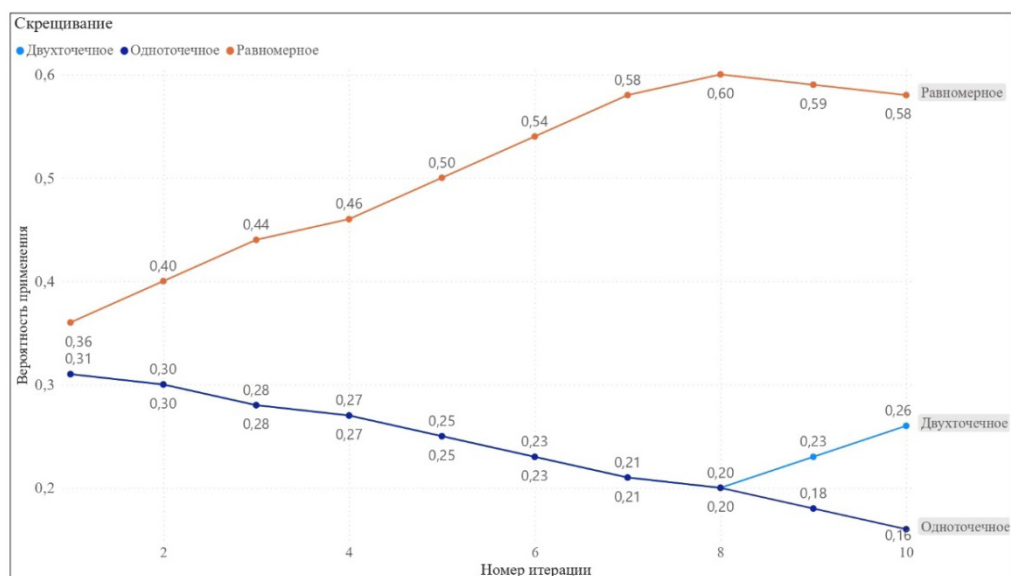


Рис. 2 – График изменения вероятностей применения операторов скрещивания (одноточечного, двухточечного, равномерного)

Графики для мутации представлены на рисунке 3.

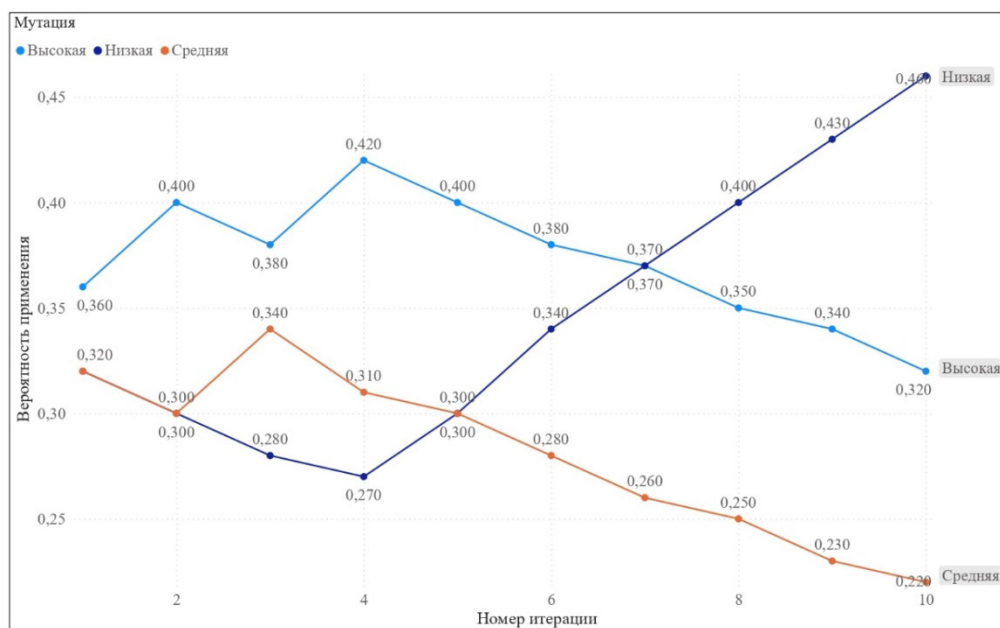


Рис. 3 – График изменения вероятностей применения оператора мутации (низкой, средней, высокой)

На первых итерациях высокая и средняя мутации доминируют, но начиная с 5 итерации низкая мутация становится предпочтительнее, она снижает разброс точек в пространстве поиска для возможности нахождения локального минимума исследуемой функции.

### Заключение

В ходе выполнения данной работы была реализована коэволюция, в схему которой были включены алгоритмы с процедурой самонастройки генетических операторов: селекции, скрещивания и мутации. В качестве метода самонастройки использовался метод *AvgFit*, работающий на основе усредненных пригодностей решений.

Эффективность реализованного подхода была исследована на двух тестовых функциях, а именно было найдено среднее значение оптимума на каждой из функций, посчитана дисперсия полученных результатов и использован непараметрический критерий Уилкоксона для проверки статистической значимости.

В дальнейшем планируется реализовать коэволюционный алгоритм с применением других методов самонастройки для наглядного сравнения.

#### **Список литературы**

1. Кушнарёва Т.В. Разработка процедуры самоконфигурации эволюционного алгоритма для автоматизированного формирования деревьев принятия решений. – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2017. – 95 с.
2. Становов В.В. Самонастраиваемые эволюционные алгоритмы формирования систем на нечеткой логике: дис. канд. тех. наук – Красноярск: СибГАУ им. М.Ф. Решетнева, 2016. – 148 с.
3. Кораблева А.А. Коэволюционный алгоритм решения сложных задач оптимизации. – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020. – 61 с.
4. Википедия: Тестовые функции для оптимизации. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Тестовые\\_функции\\_для\\_оптимизации](https://ru.wikipedia.org/wiki/Тестовые_функции_для_оптимизации) (дата обращения 08.01.2022)
5. Кораблева А.А., Полякова А.С., Липинский Л.В. Исследование эффективности стратегии перераспределения ресурсов в коэволюционном алгоритме. Научно-технический вестник Поволжья. №11 2021. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2021. – 114 с.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Издание девятое, стереотипное. 2003. – 474 с.

05.13.01

**С.А. Манцеров**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
Институт промышленных технологий машиностроения,  
кафедра «Автоматизация машиностроения»,  
Нижегород, mca\_9@nntu.ru

## **ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА СИНТЕЗА ЭКОБЕЗОПАСНЫХ СИСТЕМ**

*В работе представлены результаты оптимального синтеза экологически безопасного (экобезопасного) объекта сложной структуры, который выполняется путем поиска объекта с идентичным функционалом и максимальным значением показателя экобезопасности объекта, значение которого, характеризует комплексный (обобщенный) показатель экобезопасности.*

*Ключевые слова: экобезопасность, комплексный показатель экобезопасности, оптимальный синтез.*

Учитывая современную тенденцию к ускорению технологического развития и увеличению наукоёмкого оборудования, что ведёт к уменьшению периодов обновления технических и технологических объектов, можно утверждать, что в настоящее время необходимо кардинальное изменение подходов к данной проблеме от борьбы с последствиями уже состоявшихся воздействий на окружающую среду к их предотвращению. Решению данной проблемы может способствовать разработка метода оптимального синтеза экобезопасных технических или технологических объектов. Ключевой особенностью предлагаемого метода является возможность проведения количественной оценки и оптимизации степени их утилизационной способности на стадии разработки.

Предприятия, осуществляющие производство товаров на территории России и осуществляющие импорт товаров из третьих стран или ввоз товаров из государств – членов ЕЭС, обязаны обеспечивать выполнение установленных Правительством Российской Федерации нормативов утилизации. Производители или импортеры товаров обеспечивают утилизацию отходов от использования товаров самостоятельно путем организации инфраструктуры по сбору таких товаров либо путем заключения договоров на утилизацию товаров с третьими лицами. Данный норматив можно выполнить в ходе утилизации не только отходов, образованных от конкретного товара, но и от группы аналогичных товаров в соответствии с перечнем товаров.

Объектом для анализа экобезопасности технических или технологических объектов является воздействие на окружающую среду.

Предлагается следующий подход к количественной оценке утилизационной способности технических или технологических объектов. В основу методики количественной оценки утилизационной способности изделий [1] положено множество единичных показателей утилизации, которые формируются в результате декомпозиции и детального анализа объекта утилизации, процессов утилизации и депонирования, а также продуктов процесса утилизации.

В соответствии с этим всё множество показателей утилизации предлагается разделить на пять групп.

К показателям первой группы, характеризующим утилизируемый объект, относятся, степень разборности изделия, степень рециклинга, степень применяемости рециклируемых материалов и другие показатели.[1]

Степень разборности изделия определяется коэффициентом разборности:  $K_{разб} = N_c / N_{общ}$

где  $N_c$  - количество элементов изделия, состоящих из 2-х и более видов материалов;  
 $N_{общ}$  - общее количество составных элементов изделия.



Степень применяемости рециклируемых материалов в изделии определяется соответствующим коэффициентом:  $K_{пр} = n/P$

где  $n$  - количество видов рециклируемых материалов;

$P$  - общее количество видов материалов в изделии.

Степень рециклинга изделия определяется отношением массы его элементов, которые могут быть переработаны и использованы повторно, к общей массе изделия:  $K_{реци} = M_{ут}/M_{общ}$

где  $M_{ут}$  - масса извлекаемых из конструкции изделия элементов, материал которых способен к рециклингу;

$M_{общ}$  - общая масса изделия.

К показателям, характеризующим утилизируемый объект с точки зрения экологии, предлагается отнести, например, степень опасности изделия для окружающей среды. Вред, оказываемый изделием при попадании его в окружающую среду, можно количественно выразить с помощью класса опасности и самого изделия в целом и его составных частей. используя для этого классификаторы токсичных отходов производства и захоронения. Если изделие не содержит ни одного токсичного элемента, то оно считается не опасным для окружающей среды.

Вторую группу составляют показатели, относящиеся к процессу утилизации, такие как стоимостной показатель утилизации, степень опасности процесса утилизации и др.

Стоимость процесса утилизации в расчёте на одно изделие ( $C_{ут}$ ) можно определить как суммарную стоимость процессов его сборки-разборки, транспортировки, сортировки, переработки, реализации и др. В стоимость каждого из подэтапов входят затраты на дополнительные материалы трудовые и энергоресурсы.[1]

$$C_{ут} = \sum C_k$$

где  $C_k$  - стоимость  $k$ -го вида работ в расчёте на одно изделие;

$k$  - количество видов работ.

Тогда величина самого стоимостного коэффициента утилизации ( $K_{ут}$ ) определяется отношением:  $K_{ут} = (C_p - C_{ут}) / C_p$

где  $C_p$  - рыночная стоимость утилизируемых элементов изделия.

Предполагается, что затраты на утилизацию ( $C_{ут}$ ) будут меньше рыночной стоимости утилизируемых элементов изделия ( $C_p$ ), в ином случае, их переработка и повторное использование экономически не целесообразно.

Третью группу составляют показатели, относящиеся к продуктам процесса утилизации: степень использования продуктов, степень опасности продуктов утилизации и др.

В четвертой группе собраны показатели, относящиеся к процессу депонирования, которые аналогичны показателям процесса утилизации. Все ранее представленные показатели позволяют проводить оценку утилизационной способности изделий по разным факторам, которые имеют различную значимость с точки зрения: характера, направленности и последствий воздействия. Кроме того, для разных видов изделий весомость этих характеристик может быть разной, поэтому сравнительная оценка технических объектов по отдельным показателям очень затруднительна.

Пятая группа включает в себя показатели характеризующие показатели углеродного следа, совокупности выбросов в процессе утилизации.

На практике удобнее иметь один комплексный показатель, на основании которого можно было бы оценивать и сравнивать утилизационную способность изделий, а также выбирать наиболее рациональный с точки зрения утилизации вариант проектируемой техники.

Для определения значения комплексного показателя утилизации предлагается сформированные ранее, частные показатели утилизации оптимизировать. Для этого на основе экспертных оценок, компетентные эксперты (разработчики, инженеры-конструкторы или члены комиссии по экологической экспертизе) оценивают весовые значения показателей. В итоге, каждый из  $N$  показателей утилизации получает оценку  $Y_i$ , от каждого из экспертов, общее число которых  $M$ , а порядковый номер с индексом  $m$ .

Результаты экспертной оценки обрабатываются с помощью статистических методов и далее проводится расчёт весовых коэффициентов частных показателей утилизации ( $F_i$ ) [1]:

$$F_i = \frac{\sum_j Y_{ij}}{\sum_i \sum_j Y_{ij}}, \text{ при этом } \sum_{i=1}^m F_i = 1, F_i > 0$$

Далее определяется значение комплексного показателя экобезопасности, как аддитивной функции, зависящей от значений частных показателей утилизации и их весомости для конкретного типа изделий:

$$E(N) = \sum_{i=1}^m F_i B_i$$

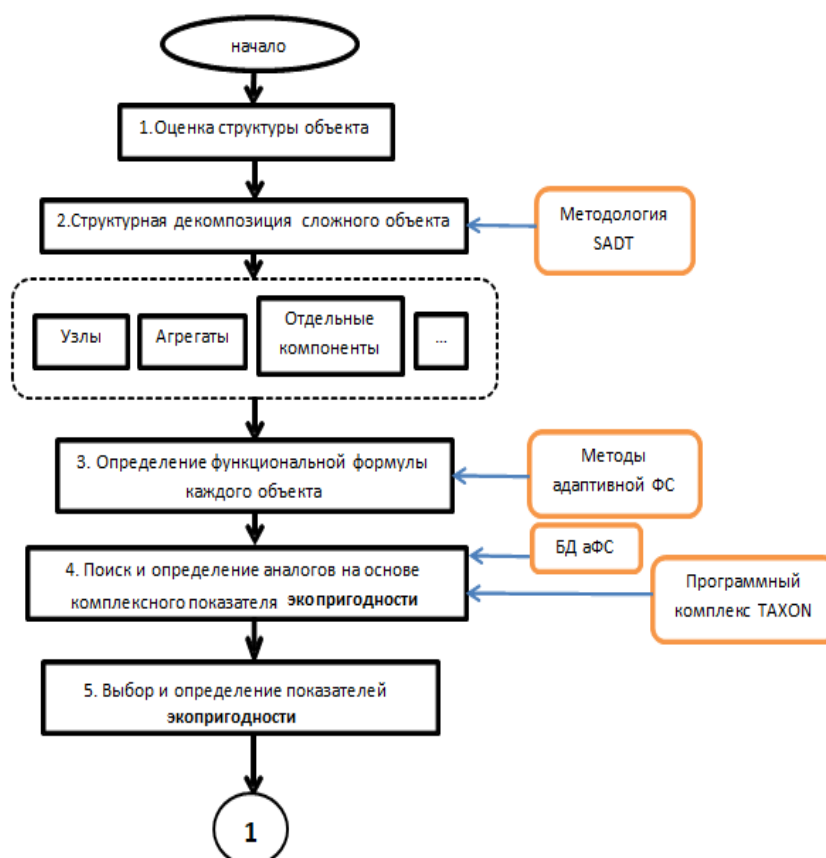
где  $N$  – номер варианта технологического объекта;  
 $m$  – количество единичных показателей утилизации;  
 $B_i$  – значение оцениваемого показателя утилизации;  
 $F_i$  – весовой коэффициент показателя утилизации.

В заключение, исходя из величины комплексного показателя утилизации, формируются выводы об утилизационной способности оцениваемого технического изделия. В целом, предлагаемая методика включает в себя, с одной стороны, анализ утилизируемого изделия и его составных частей, на основании чего формируются частные показатели утилизации, количественное значение которых определяется путём использования статистических методов и современных положений теории системного анализа. С другой стороны, проводится экспертная оценка весомости этих показателей.

Критерий оптимальности - показатель экобезопасности ( $E$ ):

$$E(N^*) = \max_{S_i}(E(N))$$

Задача оптимального синтеза экобезопасности объекта выполняется путем поиска объекта с идентичным функционалом и максимальным значением показателя экобезопасности объекта, значение которого, характеризует комплексный показатель экобезопасности (рис. 1).



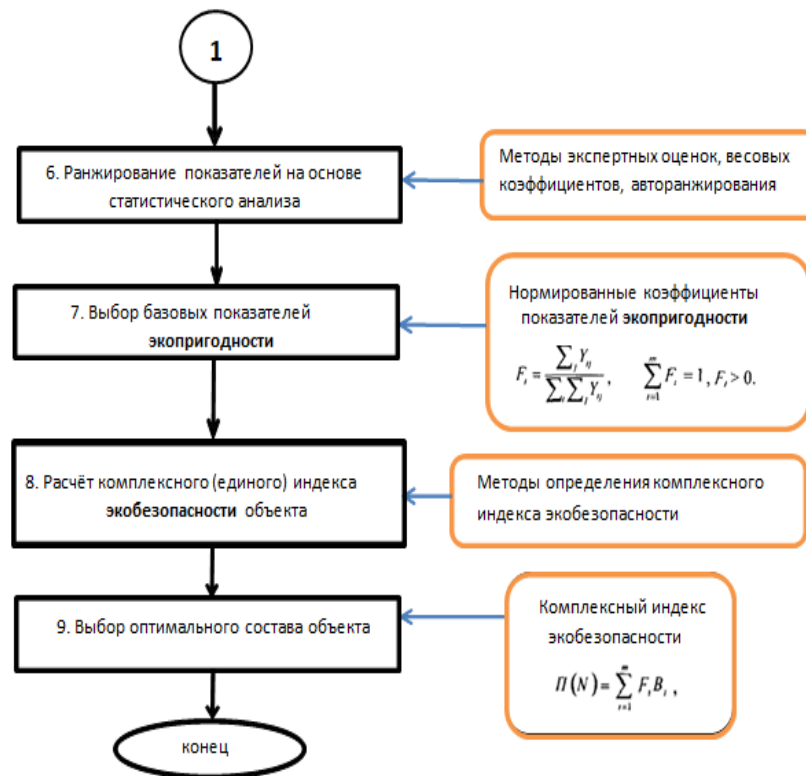


Рис. 1. Алгоритм оптимального синтеза экобезопасных объектов

Для выбора оптимального материала, компонента или агрегата при проектировании технических и технологических объектов на основе степени их утилизационной пригодности, предлагается применить адаптированные методы функциональной систематики.

**Список литературы**

1. Васькова Н.А., Кургузкин М.Г. Экологическое проектирование сложных технических изделий и систем // Инженерная экология. 2000. - № 4. -С. 50-53.
2. Katoі Kyutetsu, Higuchi Hiroaki Система рециклинга фирмы Фуд-зицу// Fujitsu. 1997. - Vol. 48.- №4. -Р. 310-314.
3. Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И., Доронина О.Д. Экологически чистое производство: содержание и основные требования // Экология и промышленность России. 2000. - № 3. - С. 19-23.

05.13.01

**Т.Е. Тлегенова, Н.Н. Манаева**

Оренбургский государственный университет,  
факультет математики и информационных технологий,  
кафедра информатики,  
Оренбург, tlegenova\_te@mail.ru

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСВОЕНИЯ МАССОВОГО ОТКРЫТОГО ОНЛАЙН-КУРСА**

*В работе рассматриваются особенности прогнозирования освоения массового открытого онлайн-курса (МООК) методами интеллектуального анализа данных. Детальное внимание уделено разработке алгоритма интеллектуального анализа данных с целью оптимизации производительности МООК. Применяя разработанный алгоритм анализа данных, авторы работы прогнозируют итоговые оценки слушателей, которые имеют риск не освоить курс.*

Ключевые слова: *алгоритмы прогнозирования, интеллектуальный анализ данных, онлайн-обучение.*

**Введение.** Согласно приоритетному проекту «Современная цифровая образовательная среда» развитие цифрового образовательного пространства и увеличение числа обучающихся образовательных организаций, освоивших онлайн-курсы обозначено как обязательная составляющая повышения качества и расширения возможностей непрерывного образования для всех категорий граждан [1].

В условиях активного развития электронного обучения одним из ключевых направлений современных исследований является разработка массовых открытых онлайн курсов. Массовые открытые онлайн курсы позволяют повысить внутреннюю активность обучающегося, его самостоятельность в образовательной и профессиональной деятельности, что максимально индивидуализирует его образовательные потребности, когнитивные стили и карьерные устремления [2].

В рамках проводимого исследования для прогнозирования освоения слушателями онлайн-курса был разработан алгоритм интеллектуального анализа данных, который позволяет на основе предварительного анкетирования слушателей и информации об их поведении (при просмотре видео, затраченном времени по конкретным вопросам или работе в форуме) определить класс, к которому относится пользователь и подобрать с учетом полученных результатов, подходящий именно ему контент МООК. Такой подход обеспечит слушателю эффективное взаимодействие с курсом, своевременное вмешательство тьютора (при необходимости корректировка действий обучающегося), тем самым увеличит шансы успешного прохождения курса.

**Основная часть.** В работе предложена модель процесса обучения, основанная на вычислении процентного соотношения следующих компетенций: универсальных (УК), общепрофессиональных (ОРК) и профессиональных (РК). Соотношения этих компетенций можно записать в следующем виде:

$$P=0.25*УК+0.35*ОРК+0.4*РК \quad (1)$$

Весовые коэффициенты определены в соответствии с опросом и современными требованиями предприятий и организаций [3].

Значения УК, ОРК, РК определяются в соответствии с входным тестированием обучающегося [4]. Каждое значение определяется в диапазоне от [0,100], что позволяет выразить определенную склонность обучающегося к определенному поведению при освоении МООК, и необходимость корректирующих или стимулирующих действий со стороны тьютора.

Далее приведем пример, допустим, результаты входного тестирования показали, что слушатель курса имеет отличную успеваемость по значению РК, но прогноз итогового балла по освоению онлайн-курса низкий, в этом случае необходимо определить класс обучающегося К.

В ходе исследования были определены четыре класса по прогнозированию академической успешности обучающихся MOOK, которые могут быть выбраны системой:

Класс А – “высокий” ( $P \geq 90$ ) представляет слушателей с устойчивой положительной мотивацией, которые извлекут максимальную выгоду из курса, результат освоения онлайн-курса успешный.

Класс В – “достаточный” ( $70 \leq P < 90$ ) характеризуется внутренне неустойчивой мотивацией, слушатель выражает стремление к самообразованию только в отдельных случаях. Предпочитает задачи с известным способом решения, начиная с легких и заканчивая сложными. В качестве корректирующих мер, чтобы пройти MOOK до конца и сделать это успешно, возможно, имеет решающее значение получение необходимой поддержки (корректировка действий, оценка эффективности работы, рефлексия) в освоении курса.

Класс С – “средний” ( $55 \leq P < 70$ ) характеризуется внешне устойчивой мотивацией, это слушатели, которые понимают цель освоения MOOK, но в большинстве случаев не выходят за рамки того, что предлагают создатели курса (тесты, задания, просмотр видео). Корректирующие или стимулирующие действия могут заключаться в дополнительном онлайн учебном материале представленном студенту в персонализированном и/ или автоматизированном виде.

Класс D – “низкий” ( $P < 55$ ) представляет слушателей с неустойчивой мотивацией, выбирающих из предложенных задач самые легкие (стандартизированные тесты), предпочитающих не включаться в обсуждение (форум, чат), быстро соглашающихся с мнениями других слушателей, они не могут поставить конкретные и индивидуальные цели изучения MOOK, соответственно не освоят курс. В качестве корректирующих мер необходимо на ранних этапах снижения активности обучающегося в курсе предложить дифференцированный подход к учебному материалу курса, дополнительные методические материалы с максимальной информативностью конкретных заданий и активизировать онлайн-общение со слушателями с помощью интерактивных инструментов (ответы на викторины, активность на форуме, выступления, чат).

Средняя погрешность при определении класса представляет собой среднеквадратичное отклонение каждого из возможных результатов тестирования:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{1}{p} S_i, \quad (2)$$

где  $S_i$  – среднеквадратичное отклонение на интервале  $I$ , оно находится для каждого из возможных результатов по формуле:

$$S_i = \sum_{j=0}^n \frac{1}{UK_j} \cdot \sum_{j=0}^m \frac{1}{OPK_j} \cdot \sum_{j=0}^t \frac{1}{PK_j} \cdot \sum_{k=1}^r S_k, \quad (3)$$

где  $S_k$  – среднеквадратичное отклонение результата тестирования, которое вычисляется по формуле:

$$S_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x}_i)^2}{n-1}}, \quad (4)$$

где  $x_i$  – результат тестирования,  $\bar{x}_i$  – среднее значение между минимальным и максимальным оцениванием,  $n$  – количество результатов тестирования с оценкой К.

Схема работы алгоритма интеллектуального анализа для прогнозирования академической успешности обучающихся в освоении массового открытого онлайн-курса показана на рис. 1:

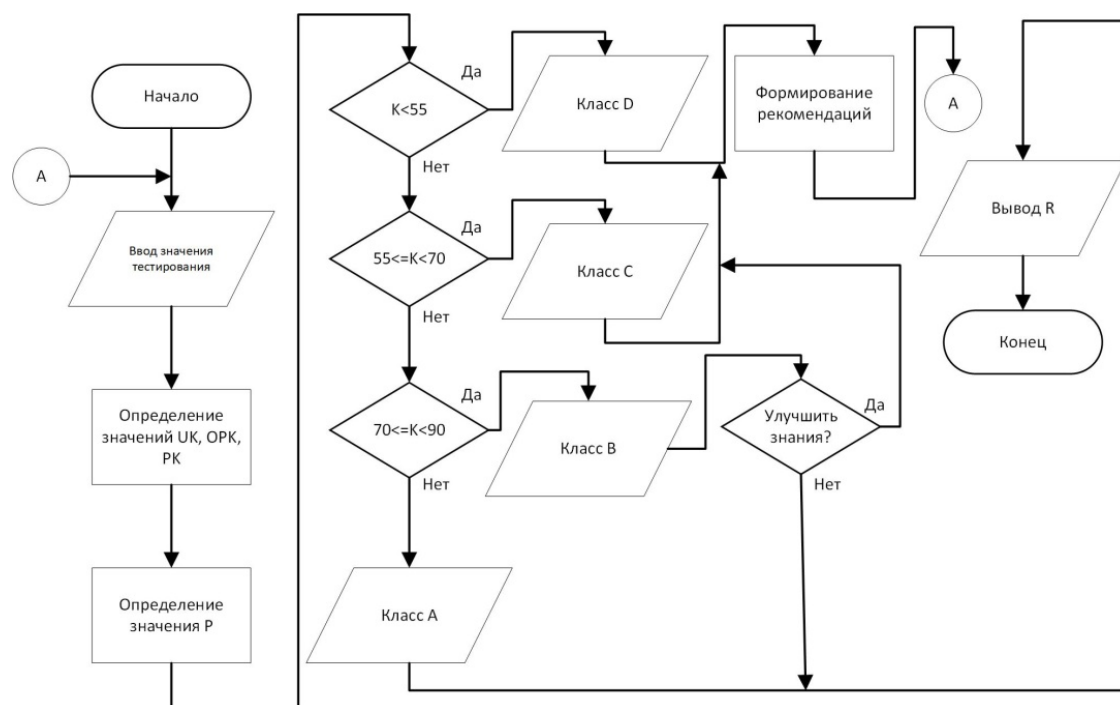


Рис. 1 – Работа алгоритма для прогнозирования освоения массового открытого онлайн-курса

В рамках исследования в качестве критериев для дифференциации контингента слушателей были приняты компетенции: УК, ОРК и РК и баллы, которые набрал по ним слушатель, в ходе проведенного опроса. После того как данные опроса обработаны, пользователю присваивается класс (А, В, С или D).

Таким образом, согласно алгоритму для прогнозирования успешного освоения массового открытого онлайн-курса, слушателям класса С и D целесообразно предложить ряд корректирующих (дополнительный материал, дифференцированный подход) и стимулирующих (различные формы заданий, адаптивный интерфейс) рекомендаций повышающих мотивацию слушателей и оценку эффективности усвоения материала обучающимися, что позволит использовать все возможности курса при решении поставленных задач.

Один из вариантов улучшить свой результат освоения курса или нет предоставлен слушателем класса В, если да, то проводится работа тьютора по корректировке действий и тщательный анализ учебных действий слушателя.

**Заключение.** Разработанный алгоритм интеллектуального анализа для прогнозирования академической успешности обучающихся в освоении MOOK позволяет на основе оценки характеристик пользователя определить его классификатор и предоставить им подходящий контент курса. В итоге пользователи с разным уровнем подготовки и возможностями могут более комфортно осуществлять свою учебную деятельность при работе с MOOK. Таким образом, применение алгоритма прогнозирования успешности освоения MOOK позволит на ранних этапах выявить слушателей, имеющих риск не освоить курс и своевременно сформировать рекомендации, оказать педагогическую поддержку слушателям в освоении курса.

**Список литературы**

1. Паспорт приоритетного проекта «Современная цифровая образовательная среда в РФ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71677640/> (дата обращения 26.10.2021).
2. Hill P. Emerging Student Patterns in MOOCs: A (Revised) Graphical View, 2013. – Режим доступа: <http://mfeldstein.com/emerging-student-patterns-in-moocs-a-revised-graphical-view/> (дата обращения 26.10.2021).
3. Квалификационные требования (профессиональный стандарт) в области информационных технологий «Специалист по информационным системам» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/> (дата обращения 26.10.2021).
4. Tlegenova T., Shardakov V. Development of an algorithm for intelligent analysis of behavioral classifiers for personalizing training // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2021. Т. 729 LNEE. pp. 413-423.

05.13.01

**Е.Г. Царькова**

Тверской государственной университет,  
математический факультет,  
Тверь, university69@mail.ru,  
Федеральное казенное учреждение  
«Научно-исследовательский институт  
Федеральной службы исполнения наказаний», НИЦ-1,  
Москва

## **ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ОХРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*В работе исследуются методы оптимизации надежности технических средств охраны. Рассматриваются способы определения вероятности состояния готовности технических систем при различных сочетаниях параметров системы. Задача оптимизации техническим обслуживанием (далее – ТО) охранного оборудования формулируется в виде задачи оптимального управления. Для учета и компенсации случайных неучтенных воздействий в модель наряду с классическим оптимальным управлением вводится управление искусственной нейронной сетью (ИНС) – нейроуправление.*

Ключевые слова: *система охраны, надёжность, оптимальное управление, искусственная нейронная сеть.*

При эксплуатации систем безопасности охраняемых объектов, в том числе, в условиях террористической напряженности и ухудшения криминогенной обстановки, на ведущую позицию выходят вопросы обеспечения их технической надежности [1]. Согласно [2] надёжность отражает способность технической системы выполнять и обеспечивать во времени предусмотренные проектные функции в заданных режимах и условиях применения по назначению, а также в периоды технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. Действенным методом повышения надежности охранного оборудования является совершенствование процессов его технического обслуживания, поиск новых подходов к организации работы ремонтных служб. Целью исследования является построение модели управления ТО для минимизации затрат и достижения максимально допустимого уровня надежности охранного оборудования. В работе впервые вводится постановка задачи оптимизации надежности охранных систем в форме задачи оптимального управления, разработка методов решения которой служит созданию эффективного механизма поддержки принятия решений в области осуществления технического обслуживания охранного оборудования. В ряде случаев задача оптимизации ТО оборудования может быть решена аналитически, однако при усложнении модели нахождение точного аналитического решения затруднительно, что приводит к необходимости разработки численных методов построения оптимального решения. Рассмотрим модель нерезервированного непрерывно контролируемого в процессе эксплуатации объекта (охранной системы) с периодическим техническим обслуживанием. Смена состояний объекта происходит под воздействием потоков отказов и восстановления, являющихся пуассоновскими и независимыми, что обеспечивает протекание марковского процесса. Единицы охранного оборудования рассматриваются как объекты с дискретными состояниями и непрерывным временем. Ориентированный граф состояний отдельного объекта приведен на рисунке 1.



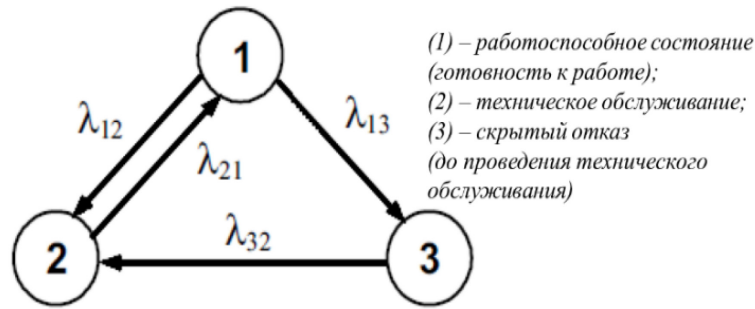


Рис. 1 – Вид графа состояний объекта с периодическим техническим обслуживанием

В рассматриваемом случае возможны четыре вида переходов: объект переходит из состояния готовности (1) в состояние технического обслуживания (2), периодичность переходов равна  $t_{TO}$ , интенсивность переходов определяется периодичностью технического обслуживания  $t_{TO}$ :  $\lambda_{12} = \frac{1}{t_{TO}}$ ; объект переходит из работоспособного состояния (1) в состояние отказа (3), интенсивность переходов равна интенсивности отказов:  $\lambda_{13} = \lambda$ ; в связи с обнаружением скрытого отказа объект переходит из неработоспособного состояния (3) в состояние технического обслуживания (2) с интенсивностью переходов  $\lambda_{32}$ ; объект из состояния технического обслуживания (2) переходит в работоспособное состояние, интенсивность переходов зависит от продолжительности проведения технического обслуживания  $\tau_{TO}$ :  $\lambda_{23} = \frac{1}{\tau_{TO}}$ . Система дифференциальных уравнений, соответствующая графу состояний технической системы, представленному на рисунке 1, имеет вид [3]:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\left(\lambda + \frac{1}{t_{TO}}\right)P_1(t) + \frac{1}{\tau_{TO}}P_2(t), & \frac{dP_2(t)}{dt} &= \frac{1}{t_{TO}}P_1(t) - \frac{1}{\tau_{TO}}P_2(t) + \frac{1 + \lambda t_{TO}}{\lambda t_{TO}^2}P_3(t), \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= \lambda P_1(t) - \frac{1 + \lambda t_{TO}}{\lambda t_{TO}^2}P_3(t), & t &\in [0, T]. \end{aligned} \tag{1}$$

В работе [4] приведено аналитическое решение системы уравнений (1) для установившихся режимов работы оборудования. На рисунках 2,3 приведены графики зависимости значений вероятностей от срока эксплуатации оборудования и периодичности ТО ( $\lambda = 10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$ ).

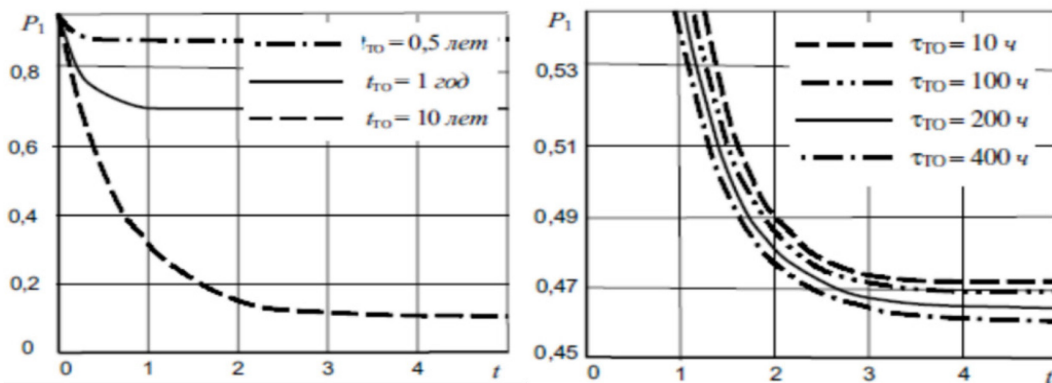


Рис. 2 – График зависимости  $P_1$  от срока эксплуатации

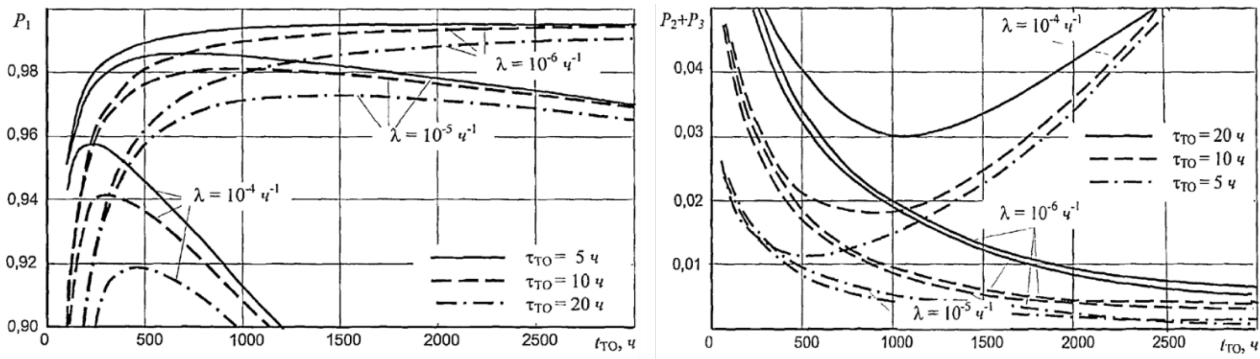


Рис. 3 - График зависимости  $P_1, P_2 + P_3$  от периодичности ТО

Вероятность нахождения системы в состоянии готовности зависит от интенсивности отказов и в значительной степени – от периодичности ТО. С учетом наблюдаемой на графиках тенденции к наличию экстремума, заключаем, что при некоторых значениях  $\lambda$  и  $\tau_{ТО}$  существует периодичность технического обслуживания, которая является оптимальной, а также может быть найдено предельное максимальное значение вероятности состояния готовности объекта [4].

Для установившегося режима эксплуатации охранной системы становится возможным решение задачи оптимизации надежности.

Полагая периодичность ТО  $t_{ТО}$  зависящей от времени  $t$ ,  $t \in [0, T]$ , вводим следующие обозначения:

$$x_1(t) = P_1(t), \quad x_2(t) = P_2(t), \quad x_3(t) = P_3(t), \quad u(t) = \frac{1}{t_{ТО}}, \quad t \in [0, T], \quad \mu = \frac{1}{\tau_{ТО}},$$

$$x_1(0) = P_1(0) = x_1^0, \quad x_2(0) = P_2(0) = x_2^0, \quad x_3(0) = P_3(0) = x_3^0, \quad u(0) = u^0.$$

Приходим к задаче оптимального управления следующего вида.

Требуется минимизировать функционал

$$I(u) = \int_0^T (\alpha e^{-\delta t} x_2(t) - x_1(t)) dt \quad (2)$$

при динамических ограничениях:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -(\lambda + u(t))x_1(t) + \mu x_2(t), \quad t \in [0, T], \\ \dot{x}_2 &= -\frac{1}{\lambda} u^2(t) x_1(t) - \left( \mu + u(t) + \frac{1}{\lambda} u^2(t) \right) x_2(t) + \left( \frac{1}{\lambda} u(t) + 1 \right) u(t), \quad t \in [0, T], \end{aligned} \quad (3)$$

с начальными условиями:

$$x_1(0) = x_1^0, \quad x_2(0) = x_2^0, \quad u(0) = u^0, \quad (4)$$

при ограничениях на управление:

$$u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max}, \quad t \in [0, T]. \quad (5)$$

Здесь  $\alpha$  – стоимость работ по техническому обслуживанию объекта в единицу времени,  $\delta > 0$  – дисконтирующий множитель.

Для компенсации не учтенных в модели стохастических явлений введем в модель управление процессом при помощи искусственной нейронной сети. Получаем адаптивную систему с нейроуправлением, позволяющим корректировать управляющую стратегию при наличии помех, шумов, дополнительных случайных факторов. Система (3) примет вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= -(\lambda + u(t))x_1(t) + \mu x_2(t) + G_1(t, x(t), w(t)) \\ \dot{x}_2(t) &= -\frac{1}{\lambda} u^2(t) x_1(t) - \left( \mu + u(t) + \frac{1}{\lambda} u^2(t) \right) x_2(t) + \left( \frac{1}{\lambda} u(t) + 1 \right) u(t) + G_2(t, x(t), w(t)), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $w_{ij}(t)$  – весовые коэффициенты искусственной нейронной сети,  $\psi_1, \psi_2$  – заданные величины, в общем случае зависящие от времени. В модель вводится нейроуправление системой с функцией активации  $G_i(t, x(t), w(t)) = G_i \left( \sum_{j=1}^2 w_{ij} x_j(t) - \psi_i \right), t \in [0, T], \psi_i$  – величина сдвига аргумента,  $i=1, 2$ . В такой постановке в оптимизационной задаче может быть выполнена дискретная аппроксимация дифференциальных уравнений и построено численное решение соответствующей дискретной задачи оптимального управления. Таким образом, нейроуправление в сочетании с классическим управлением позволяет создавать адаптивную систему с возможностью компенсации случайных факторов с помощью предварительно обученной ИНС.

#### Список литературы

1. *Измайлов А.В.* Некоторые проблемы построения интегрированных систем безопасности объектов // Современные охранные технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: Информ.-издат. центр ПГУ. – 2002. – С. 14-19.
2. *Рогожин А.А.* Критериальное моделирование оценки качества функционирования и надежности интегрированных систем безопасности охраняемых объектов / А.А. Рогожин, В.А. Дурденко // Вестник Воронежского института МВД России. – 2012. № 1. – С. 205-214.
3. *Сугак Е.В.* Надежность технических систем / Е.В. Сугак, Н.В. Василенко, Г.Г. Назаров [и др.] – Красноярск: МГП «Раско». – 2001. – 608 с.
4. *Беляев А.К.* Ставка на качество: прогнозирование надежности технических средств как инструмент подбора охранных систем / А.К. Беляев, Е.Г. Царькова // Информационные технологии в УИС. – 2020. – № 1. – С. 13-26.

05.13.01

**Л.О. Чернышев, Ю.Н. Матвеев д-р техн. наук**

Тверской государственной технической университет,  
факультет информационных технологий,  
кафедра электронно-вычислительных машин,  
Тверь, plumber63@mail.ru, matveev4700@mail.ru

### **КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И АНАЛИЗА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ МЕСТНОСТИ**

*В статье рассмотрена система визуализации последствий аварии на основе вероятностной клеточной модели с учетом эффектов взаимодействия выброса с препятствиями. Представлена обобщенная схема обработки информации в системе. Ассимиляция данных основана на алгоритме волновой трассировки, формирующем карту целевой функции. Рассмотрен практический пример работы системы.*

Ключевые слова: *оперативное реагирование, вероятностное моделирование, клеточная модель, перенос, препятствие.*

**Введение.** Разработка системы визуализации и анализа последствий выбросов, основанной на алгоритмах с высоким быстродействием, в которой предусмотрена корректировка параметров прогнозной модели по фактическим данным химического заражения, представляется важной и актуальной для оперативного реагирования на техногенные аварии.

В публикации [1] раскрыты особенности ассимиляции данных в СППР [2], которая на основе модели Гаусса обеспечивает анализ последствий аварийных выбросов с визуализацией зон загрязнения на цифровой карте местности. Основные причины, ограничивающие функциональные возможности системы при локальном масштабе загрязнения: наличие препятствий в зоне загрязнения; сложность и неоднородность рельефа местности; отсутствие измерительного оборудования.

Для описания эффектов взаимодействия примесей с препятствиями обычно используют вычислительные модели гидроаэродинамики (CFD - модели), которые основаны на решении уравнения Навье - Стокса и обеспечивают анализ потока среды. Но оперирование этими моделями возможно при наличии значительных вычислительных ресурсов для обеспечения приемлемого быстродействия системы. В условиях дефицита времени скорость модельных вычислений является основным критерием СППР, даже в случае некоторого снижения точности прогноза.

**Исследование.** Авторами использован альтернативный клеточно-автоматный (КА) подход к моделированию газовой динамики, который на основе эмпирических допущений, простых алгоритмов и решающих правил, в ряде случаев способен описать пространственно-временную форму выброса и оценить его статистические характеристики. На основе модели асинхронного КА с окрестностью фон Неймана разработана СППР [3], которая учитывает эффекты взаимодействия примесей с препятствиями в условиях промышленной застройки местности. Кратко рассмотрим особенности функционирования этой системы.

**Уровни анализа и визуализации данных.** Обобщенная схема обработки информации в системе оперативного реагирования охватывает следующие уровни анализа и визуализации данных (рис. 1): уровень представления (интерфейс и логика модели), уровень оптимизации (модуль оптимизации, блок целевой функции и карты пути) и уровень ядра системы (менеджер экспериментов и вычислительное ядро). Связи, характеризующие взаимодействие элементов схемы, отображены линиями, направленными от инициатора обращения к объекту запроса.



Рис. 1 – Основные уровни анализа и визуализации данных в СПДР

После инициализации программы, обработчик события (связь 1) формирует исходные данные и вызывает модуль оптимизации (связь 2). Подготовка исходных данных необходима для согласования начальных установок пользователя с параметрами настройки модуля оптимизации (связь 10). После прогона модели, модуль оптимизации обращается к блоку целевой функции (связь 3). Активизированный модуль оптимизации запускает алгоритм поиска решения, основанный на расчете целевой функции при заданных пользователем ограничениях на изменяемые параметры модели. Наилучшее решение соответствует минимальному отклонению координат датчика от воспроизводимого моделью профиля изолинии с аналогичной концентрацией примеси.

В блоке карты пути формируется матрица расстояний, которая является основой для расчета целевой функции (связь 4). При очередной инициализации датчика, в блоке менеджера экспериментов происходит однократный расчет матрицы расстояний с учетом препятствий (связь 5). Результаты прогона модели используются для визуализации изолиний концентрации (связи 6, 9), блок менеджера экспериментов инициализирует потоки с экземплярами эксперимента (связь 7) с последующим уведомлением о завершении эксперимента (связь 8).

Для увеличения производительности системы в схеме обработки информации (рис. 1) могут быть использованы алгоритмы параллельных вычислений. При этом серия экспериментов разделяется на отдельные потоки для получения результирующей информации.

**Ядро системы.** Ядро системы [3] преобразует множество  $P = \{P_1, P_2\}$  входных параметров в ограниченный массив  $Y$  выходной информации с учетом массива  $U$  внутреннего состояния объекта. Параметры модели:  $P = \{m^*, \sigma^*, B, c, q, x_0, y_0, c_{SPZ}\}$ , где:  $m^*$  - математическое ожидание полярного угла направления оси выброса (градусы);  $\sigma^*$  - среднеквадратическое отклонение полярного угла (градусы);  $B$  - булев массив препятствий;  $c$  - начальная концентрация загрязнителя в источнике выброса ( $г/м^3$ );  $q$  - размер санитарной защитной зоны (сумма секторов);  $c_{SPZ}$  - минимальная концентрация загрязнителя в санитарной защитной зоне ( $г/м^3$ );  $x_0, y_0$  - координаты источника. Выходная информация модели  $Y$  представляет собой поле концентрации вещества.

Особенности первичной оценки и корректировки параметров модели:

1. В случае априорной неопределенности условий выброса, для первичной оценки параметров модели  $P$  могут быть использованы результаты визуализации полей концентраций, полученные в системе поддержки принятия решений [3] на основе решения уравнения Гаусса без учета эффектов взаимодействия с препятствиями.

2. Переход от простых алгоритмов «грубого» поиска опорного решения к упорядоченным глобальным алгоритмам на основе, например, «метода имитации отжига», который «игнорирует» окрестности локальных экстремумов при поиске наилучшего решения. Особенности глобальных алгоритмов будут раскрыты в дальнейших публикациях. Далее рассмотрен алгоритм поиска решения на основе метода Нелдер-Мида.

Разнообразные конфигурации облака и преград приводят к неоднозначному выражению и мультимодальному виду целевой функции. Поэтому для решения задачи ассимиляции данных целесообразно использовать стохастический подход. В случае, если известны только границы изменения параметров, то подход робастной оптимизации заключается в поиске наилучшего решения, которое является допустимым для этих границ и в некотором смысле оптимально.

**Целевая функция ассимиляции с учетом рельефа местности.** Для критериальной оценки ассимиляции данных наблюдений может быть использован функционал  $\Delta$ , но преграды, расположенные между изолинией и датчиком концентрации, исключают возможность его прямого расчета по формуле (1). Поэтому в системе реализован алгоритм «Волновой трассировки», основанный на методе поиска в ширину, в котором начальная точка определена координатами датчика, а конечная - принадлежит соответствующей изолинии этой же пары [4].

Математическая постановка задачи поиска решения учитывает особенности ассимиляции данных наблюдений. На основе результатов замеров концентрации  $C_i(x,y)$ , прогнозных значений концентрации  $C_i^m(x,y)$  и параметров «карты целевой функции», вычислить оптимизируемые параметры модели  $P$ , которые доставляют минимум целевой функции:

$$\Delta = \| C_i(x,y); C_i^m(x,y) \| \rightarrow \min, \quad (1)$$

при ограничениях:  $c_n \leq c \leq c_k$ ,  $x_n \leq x \leq x_k$ ,  $y_n \leq y \leq y_k$ ,  $0 \leq m \leq 360^\circ$ ,  $60^\circ \leq d \leq 130^\circ$ ,  $q_n \leq q \leq q_k$ , где индексы «н» и «к» обозначают нижние и верхние пределы изменения параметров. При верхнем пределе дисперсии  $d_k = 130^\circ$  модельное отображение облака представляет собой круг с центральным расположением источника выброса. Результаты моделирования при нижнем пределе  $d_k < 60^\circ$  приводят к искажениям формы облака, а также проблемам оптимизации модели с «резкими» перепадами концентрации.

Для определения параметров модели использована критериальная оценка  $\Delta_0$ , характеризующая минимальное координатное расстояние от изолинии  $Isol_i$  до точки замера концентрации  $C_i$  (2):

$$\Delta_0 = \begin{cases} \sum_{i=1}^{N_1} (\min(G(R_i, Isol_i))), & \text{если } y(R_i) \geq C_i \\ \sum_{i=1}^{N_2} ((s \min(G(R_i, Isol_i)))), & \text{если } y(R_i) < C_i \end{cases}, \quad (2)$$

$$Y = \Psi(p_1, p_2, p_3, \dots, p_m), \dots \dots \dots (3)$$

где:  $i$  - номер датчика;  $C_i$  - показание измерения  $i$ -го датчика;  $R_i$  - реперная точка на карте местности с координатами расположения  $i$ -го датчика;  $N$  - общее количество датчиков концентрации;  $N=N_1+N_2$ ;  $N_1, N_2$  - количество датчиков, показания которых не превышают прогнозных оценки  $y(R_i)$  и, в противоположном случае, соответственно; функция  $\Psi$  характеризует вероятностную клеточную модель; функция  $G$  формирует расстояние от датчика до изолинии;  $Isol_i \subset Y$  - множество точек на изолинии с концентрацией  $C_i$ ;  $s$  - штрафной коэффициент.

Полная совместимость модельных результатов и показаний датчиков невозможна из-за принятых упрощений модели (3). Поэтому выбран сценарий пессимистичного варианта моделирования и «загрублены» модельные характеристики. В расчет оценки  $\Delta_0$  (2) введен штрафной коэффициент  $s > 1$ , который при моделировании выброса учитывает случаи недостаточной воспроизводимости показаний всех датчиков и повышает значение целевой функции при условии  $y(R_i) < C_i$ .

**Результаты.** В примере использованы экспериментальные данные из "Urban tracer dispersion experiment in London (DAPPLE) 2003: field study and comparison with empirical prediction" [5] с замерами концентрации, превышающими значение  $C_i=3.07E-05$  (кг/м<sup>3</sup>). Макет системы реализован на аппаратной платформе двоядерного процессора Intel(R) Pentium(R) CPU G3240@ 3.10GHz, с оперативной памятью 8,00 ГБ.

Условия эксперимента: размер площади моделирования 50x50 секторов; имитационная модель - асинхронный клеточный автомат с окрестностью фон Неймана; метод определения - алгоритм Нелдер-Мида; аддитивная целевая функция определена формулой (2); серия состоит из 100 экспериментов; неизменяемый параметр: координаты источника выброса  $R(x_0, y_0)$ ; диапазоны изменения параметров:  $0^\circ \leq m^* \leq 90^\circ$ ;  $60^\circ \leq \sigma^* \leq 130^\circ$ ;  $1.58E-04 \leq c \leq 1.0E-03$  в единицах  $C/Q$  (где:  $C$  - концентрация (кг/м<sup>3</sup>);  $Q$  - мощность источника (кг/с); размер  $c_{SPZ}$  в диапазоне (1-2000) секторов.

Несмотря на низкую производительность аппаратной платформы системы, при поиске решения наблюдалось устойчивое и результативное функционирование разработанного алгоритма, сходимость значений целевой функции достигалась, в среднем, за 60 симплексных итераций при 20 секундных затратах процессорного времени. Оценочные данные, полученные в системе, свидетельствуют о приемлемой для принятия решений степени соответствия реальных и модельных данных.

Результаты экспериментов показали, что имитация полета частицы, потребляет значительную часть процессорного времени. Высокое быстродействие алгоритма можно обеспечить только при ограниченном множестве результирующих секторов  $c_{SPZ}$ , исходя из компромисса между скоростью модельных вычислений и точностью прогноза.

**Выводы.** Для расчета последствий выброса при локальном масштабе аварии использован алгоритм вероятностной клеточной модели, который учитывает эффекты взаимодействия с препятствиями. В системе реализован пессимистичный прогноз. Более точные прогнозы должны быть основаны на CFD-моделях. Система ориентирована на супервизорную поддержку ликвидационных мероприятий и дополняет возможности верифицированных программных средств,

#### Список литературы

1. Чернышев Л.О., Матвеев Ю.Н. Автоматизированная система поддержки принятия решений для прогнозирования процессов рассеивания химически опасных веществ // Программные продукты и системы, 2021. - Т. 34. - № 2. - С. 307-315.
2. Чернышев Л.О., Матвеев Ю.Н. Программа для ЭВМ: "Программа поддержки принятия решений для прогнозирования процессов рассеивания промышленных аварийных выбросов" (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021662063, 21 июля 2021 года).
3. Чернышев Л.О., Матвеев Ю.Н. Программа для ЭВМ: "Система визуализации и анализа последствий аварийных выбросов на основе модели вероятностного клеточного автомата" (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021665537, 28 сентября 2021 года).
4. Сизова Л.Н. Волновой алгоритм трассировки и пример его реализации // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2015), 2015. - С. 246-248.
5. Martin D. et al. Urban tracer dispersion experiment in London (DAPPLE) 2003: field study and comparison with empirical prediction // Atmospheric Science Letters, 2010. - Т. 11. - №. 4. - С. 241-248.

05.13.01

**Н.М. Чиганова канд. физ.-мат. наук**

Национальный исследовательский  
 Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),  
 кафедра высшей математики,  
 Москва, ChiganovaNM@mgsu.ru

### **ВЛИЯНИЕ МЕШАЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ НА ДОВЕРИТЕЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ**

*При решении задач проверки надежности и качества изделий иногда возникает необходимость найти интервал, в который с определенной вероятностью может попасть оцениваемый параметр. В ряде случаев в инженерных задачах появляется необходимость учитывать мешающие параметры, которые присутствуют при оценке. В статье доказываются утверждения, позволяющие эффективно использовать предлагаемый метод для интервальной оценки. Рассмотрен пример применения предложенного метода.*

Ключевые слова: *интервальная оценка, монотонность функции, надежность, параметр.*

Пусть  $X_1, \dots, X_n$  – независимые одинаково распределенные случайные векторы размерности  $m$  с функцией распределения  $F(x; \theta)$ , где  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_k)$  – вектор неизвестных параметров, принимающий значения в области  $\Theta$ .

В работе [1] был предложен метод нахождения  $X_1, \dots, X_n$  при условии, что известна точечная оценка  $\tilde{\varphi} = \tilde{\varphi}(X_1, \dots, X_n)$  функции  $\varphi(\theta)$ . Этот метод применим в случае, когда функции

$$g(y; z) = \inf_{\theta \in \Phi(z)} G(y; \theta), \quad \mathfrak{E}(y; z) = \sup_{\theta \in \Phi(z)} G(y + 0, \theta) \quad (1)$$

являются монотонными по  $z$  при любом фиксированном  $y$ . В этих формулах  $\Phi(z) = \{\theta \in \Theta: \varphi(\theta) = z\}$ , а  $G(y; \theta)$  – функция распределения статистики  $\tilde{\varphi}$ .

Отметим, что не всегда легко установить монотонность функций  $g(y; z)$  и  $\mathfrak{E}(y; z)$ . Ниже показано, что метод, предложенный в [1], применим, когда функции  $\varphi(\theta)$  и  $F(x; \theta)$  при всех  $x$  являются монотонными по каждой из компонент вектора  $\theta$ . Можно привести пример практически важных задач, в которых монотонность функций  $\varphi(\theta)$  и  $F(x; \theta)$  очевидна.

Пусть  $f(\theta)$  и  $\psi(\theta)$  – некоторые функции, заданные в области  $\Theta$ , и  $\Psi$  – множество возможных значений функции  $\psi(\theta)$ . Скажем, что множество  $\Theta$  содержит нижнюю  $\theta_*$  (верхнюю  $\theta^*$ ) точку, если существует такая  $\theta_* \in \Theta$  ( $\theta^* \in \Theta$ ), что  $\theta_* \leq \theta$  ( $\theta^* \geq \theta$ ) при всех  $\theta \in \Theta$  (запись  $\theta \leq \theta$  означает совокупность неравенств  $\theta_1 \leq \theta_1, \dots, \theta_k \leq \theta_k$ ). Введем по аналогии с (1) на множестве  $\Psi$  функции  $f_*(z) = \inf_{\psi(\theta)=z} f(\theta)$ ,  $f^*(z) = \sup_{\psi(\theta)=z} f(\theta)$ .

**Теорема.** Пусть  $\psi(\theta)$  – непрерывная неубывающая (невозрастающая) по всем координатам вектора  $\theta$  функция, а  $\Theta$  – выпуклое множество, содержащее нижнюю  $\theta_*$  и верхнюю  $\theta^*$  точки. Тогда, если функция  $f(\theta)$  возрастает по всем координатам вектора  $\theta$ , то функции  $f_*(z)$  и  $f^*(z)$  на множестве  $\Psi$  неубывающие (невозрастающие); если функция  $f(\theta)$  убывает по всем координатам вектора  $\theta$ , то функции  $f_*(z)$  и  $f^*(z)$  – невозрастающие (неубывающие).

Доказательство проведем только для случая, когда  $\psi(\theta)$  не убывает. Зафиксируем произвольные  $z_1, z_2 \in \Psi$ ,  $z_1 < z_2$ . Выберем из непустого множества  $\{\theta: \psi(\theta) = z_2\}$  любой элемент  $\theta''$ . Покажем, что найдется  $\theta'$  такое, что  $\psi(\theta') = z_1$ ,  $\theta' \leq \theta''$ .

Пусть  $L = \{\theta: \theta_* + l(\theta'' - \theta_*), 0 \leq l \leq 1\}$  – отрезок, соединяющий точки  $\theta_* \in \Theta$  и  $\theta'' \in \Theta$ . В силу выпуклости  $\Theta$  отрезок  $L$  полностью принадлежит  $\Theta$ , и на этом отрезке  $\psi(\theta)$  можно рассматривать как некоторую функцию  $\hat{\psi}(l), 0 \leq l \leq 1$ . Так как  $\psi(\theta)$  – непрерывная и



неубывающая по  $\theta$  функция, то и функция  $\hat{\psi}(l)$  обладает этими же свойствами, причем на концах отрезка  $\hat{\psi}(0) \leq z_1 < z_2 \leq \hat{\psi}(1)$ . Отсюда следует, что существует такое число  $l_1$  ( $0 \leq l_1 \leq 1$ ), что  $\hat{\psi}(l_1) = z_1$ . Тем самым показано, что в качестве  $\theta$  можно выбрать точку  $\theta = \theta_* + l_1(\theta'' - \theta_*)$ .

Таким образом, если  $z_1 < z_2$ , то существуют такие  $\theta'$  и  $\theta''$ , что  $\psi(\theta') = z_1, \psi(\theta'') = z_2$ , причем  $\theta' \leq \theta''$ , а значит  $f_*(z_1) \leq f_*(z_2)$ , если  $f(\theta)$  возрастает по  $\theta$  ( $f_*(z_1) \geq f_*(z_2)$ ), если  $f(\theta)$  убывает по  $\theta$ . Аналогично устанавливается монотонность функции  $f^*(z)$ . Теорема доказана.

Нетрудно заметить, что для доказательства монотонности функции  $f_*(z)$  ( $f^*(z)$ ) достаточно, чтобы существовала лишь нижняя  $\theta_* \in \Theta$  (верхняя  $\theta^* \in \Theta$ ) точка.

По сути, в данной теореме от функции  $\psi(\theta)$  требуется непрерывность и монотонность по каждой из координат вектора  $\theta$ , причем если по координате  $\theta_i$  эта функция является невозрастающей, то заменой  $\theta_i^* = e^{\pm\theta_i}$  её можно преобразовать в неубывающую.

Представляет интерес установление достаточных условий монотонности функции  $G(y; \theta)$ , выраженных в терминах статистики  $\tilde{\varphi}(X_1, \dots, X_n)$  и исходной функции  $F(x; \theta)$ .

**Определение.** Скажем, что множество  $D \subset R^n$  удовлетворяет условию (i), если в любом сечении его плоскостями  $x_j = x_j^0, j = 1, \dots, i-1, i+1, \dots, n$ , получается полупрямая  $(x_1^0, \dots, x_{i+1}^0, x_{i+1}^0, \dots, x_n^0)$ ,  $-\infty < x_i \leq x_i^0$ , где  $x_i^0 = x_i^0(x_i^{*0})$  и  $x_i^{*0} = (x_1^0, \dots, x_{i-1}^0, x_{i+1}^0, \dots, x_n^0)$ .

Данная теорема позволяет во многих случаях обосновать нахождение интервальных оценок методом, изложенным в [1]. Проиллюстрируем это примером. Следует отметить, что фактическое нахождение экстремальных точек  $\theta_1, \dots, \theta_k$  для функции  $G(y; \theta)$  на множестве  $\Phi(z)$  представляет собой сложную вычислительную проблему, требующую самостоятельного рассмотрения.

**Пример.** Интервальная оценка показателей надежности системы по результатам испытания ее элементов.

Пусть имеется система, состоящая из  $k$  последовательно соединенных элементов. Предполагается, что элементы работают независимо друг от друга и отказ любого элемента приводит к отказу системы. Обозначим  $p_i$  вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента за некоторое фиксированное время  $t$ . Тогда вероятность безотказной работы системы за время  $t$  будет определяться по формуле  $p = p_1 \dots p_k$ . Допустим, что для оценки показателя  $p_i$  было испытано  $n_i$  элементов и из них  $d_i$  не отказали за время  $t$ . Задача состоит в том, чтобы найти по информации  $(n_1, d_1), \dots, (n_k, d_k)$  интервальную оценку для показателя надежности системы  $p$ . Решению этой задачи посвящено большое количество работ ([2], [3], [4], [5]).

Выберем согласно [1] в качестве точечной оценки статистику  $\tilde{p} = \tilde{p}_1 \dots \tilde{p}_k$ , где  $\tilde{p}_i = \frac{d_i}{n_i}$ . Функция распределения оценки выражается формулой

$$G(y; p_1, \dots, p_k) = \sum \prod_{i=1}^k b(x_i; n_i, p_i) \tag{2}$$

где суммирование производится по тем значениям  $x_i$ , для которых  $\frac{x_1 \dots x_k}{n_1 \dots n_k} < y$  и  $b(x_i; n_i, p_i) = C_{n_i}^{x_i} p_i^{x_i} (1 - p_i)^{n_i - x_i}$ . Чтобы можно было воспользоваться методом, изложенным в [1] для определения интервальной оценки характеристики  $p$ , необходимо убедиться в монотонности по  $z$  функций  $g(y; z) = \inf_{p=z} G(y; p_1, \dots, p_k)$ ,  $\mathfrak{E}(y; z) = \sup_{p=z} G(y; p_1, \dots, p_k)$ .

Покажем с помощью рассмотренной теоремы, что эти функции убывают по  $z$  при любом  $y$ . Заметим вначале, что в силу [3] [6] функция распределения случайной величины  $d_i$  выражается формулой  $F(x_i; p_i) = \frac{1}{B(n_i - [x_i] + 1, [x_i] + 1)} \int_0^{1-p_i} \xi^{n_i - [x_i]} (1 - \xi)^{[x_i]} d\xi$ , где  $[x_i]$  – целая часть числа  $x_i$ ,  $B$  – бета – функция. Отсюда видно, что  $F(x_i; p_i)$  – убывающая функция  $p_i$ . Так как для множества значений  $x_i$ , удовлетворяющих неравенству  $\frac{x_1 \dots x_k}{n_1 \dots n_k} < y$ , выполняется

условие (i), то по теореме 2 функция  $G(y; p_1, \dots, p_k)$  убывает по переменным  $p_1, \dots, p_k$ . Поскольку, к тому же, функция  $p = p_1, \dots, p_k$  возрастает по всем переменным, то по рассмотренной теореме функции  $g(y; z)$  и  $\mathfrak{E}(y; z)$  убывают по  $z$  при любом фиксированном  $y$ , что, как и следовало ожидать, совпадает с выводом работы [1].

Приведенный выше пример показывает, что оценка статистических характеристик параметров технических объектов, процессов, и любых измеренных экспериментальных данных является неотъемлемой процедурой при определении их точности и надежности. В инженерной практике часто возникает необходимость решения задач оценивания при наличии мешающих параметров.

В языке традиционной математики нет моделей, с помощью которых можно было бы достаточно точно отразить нечеткость исходных данных. Эта нечеткость обычно связана с интервальной неопределенностью описания того или иного технического параметра.

Предлагаемый математический аппарат позволяет гибко подходить к классической задаче оценивания таких числовых характеристик, как математическое ожидание и дисперсия и на их основе проводить комплексную оценку влияния заданных параметров на исследуемый объект.

В результате этого обсуждения удастся указать доверительные пределы для среднего и дисперсии по одному наблюдению и резко сократить объем проводимых вычислений.

#### **Список литературы**

1. *Большев Л.Н., Логинов Э.А.* Интервальные оценки при наличии мешающих параметров, Теория вероятн. И ее примен., XI, (1966), 94-107.
2. *Ширяев А.Н., Эрлих И.Г., Оськов П.А.* Вероятность в теоремах и задачах (с доказательствами и решениями), т. 1, МЦНМО, М., 2013, 648 с.
3. *Ушаков И.А.* Курс теории надежности систем, Учебное пособие. Москва, Дрофа, 2008. 239 с.
4. *Большев Л.Н., Смирнов Е.В.* Таблицы математической статистики, Москва, Наука, 2012.
5. *Chiganova N.M.* Reliability theory application for building structures reliability determination, MATEC Web of Conferences Vol. 86, 02009 (2016), <https://doi.org/10.1051/mateconf/20168602009>
6. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д., Каштанов В.А.* Математические методы в теории надежности, Книжный дом «ЛИБРОКОМ», Москва, 2013, 550 с.

05.13.01

<sup>1</sup>М.Ю. Шрейдер канд. техн. наук, <sup>1</sup>А.С. Боровский д-р техн. наук,  
<sup>2</sup>А.Д. Тарасов канд. техн. наук

<sup>1</sup>Оренбургский государственный университет,  
Аэрокосмический институт,  
кафедры управления и информатики в технических системах,  
<sup>2</sup>Оренбургский государственный аграрный университет,  
Институт управления рисками и комплексной безопасности,  
кафедры цифровых систем обработки информации и управления,  
Оренбург, borovski@mail.ru, marshr@mail.ru, adtarasov@mail.ru

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

В статье рассматривается модель *Estimate of Adversary Sequence Interruption (EASI)* представляющая оценку несанкционированного проникновения нарушителя на охраняемый объект. Приводятся примеры.

Ключевые слова: система физической защиты, оценка эффективности СФЗ, модель EASI.

К настоящему времени, задача оценки эффективности СФЗ является, безусловно актуальной. Накоплен значительный опыт по моделированию угроз, как внутренних, так и внешних, рассматриваются различные сценарии столкновения сил реагирования с нарушителями, проводится всесторонний анализ возможных путей проникновения нарушителя и т.д.

Модель «Estimate of Adversary Sequence Interruption» – простая в использовании программа, которая определяет вероятность предотвращения несанкционированных действий. Рассматривается последовательность шагов нарушителя, совершаемых при попадании на охраняемую территорию (путь движения по объекту). Исходные данные представляют собой различные вероятности событий такие как обнаружение нарушителя датчиками, а также временные интервалы, например, сколько секунд потребуется нарушителю для преодоления физического барьера [1, 2].

В настоящее время существует множество различных версий EASI, она так же лежит в основе других моделей. Приведем несколько примеров использования модели EASI разработанной средствами табличного процессора Microsoft Excel [3].

Допустим, цель нарушителя – вывести объект из строя (например, вывести из строя источник электроэнергии на предприятии), для достижения своей цели, нарушитель должен нарушить целостность ограждения, переместится к зданию, попасть внутрь здания, переместится к критической зоне, преодолеть дверь, и уже после проделанных действий воздействовать на охраняемый объект (таблица 1).

Таблица 1 – Модель расчета вероятности прерывания действий нарушителя (фрагмент №1)

Этапы движения нарушителя		Значение вероятности оповещения охраны		Реагирование охраны, с	
		0.95		Среднее значение	Стандартное отклонение
		P(D)	Размещение	300	90
Задача	Описание	P(D)	Размещение	Средняя задержка, с	Стандартное отклонение
1	Нарушить целостность ограждения	0	В	10	3
2	Переместится к зданию	0	В	12	3.6

3	Попасть внутрь здания	0.9	В	90	27
4	Переместится к критической зоне	0	В	10	3
5	Преодолеть дверь	0.9	В	90	27
6	Воздействовать на охраняемый объект	0	В	120	36
<b>Вероятность прерывания</b>		<b>0.47604073</b>			

Среднее время реакции охраны – 300 секунд. Вероятность прерывания в нашем случае: 0.476. Установим на пути нарушителя дополнительную дверь (таблица 2).

Таблица 2 – Модель расчета вероятности прерывания действий нарушителя (фрагмент №2)

<i>Этапы движения нарушителя</i>		Значение вероятности оповещения охраны		Реагирование охраны, с	
				Среднее значение	Стандартное отклонение
		0.95		300	90
Задача	Описание	P(D)	Размещение	Средняя задержка, с	Стандартное отклонение
1	Нарушить целостность ограждения	0	В	10	3
2	Переместится к зданию	0	В	12	3.6
3	Попасть внутрь здания	0.9	В	90	27
4	Переместится к критической зоне	0	В	10	3
5	Преодолеть дверь	0.9	В	90	27
6	Преодолеть дверь	0.9	В	90	27
7	Воздействовать на охраняемый объект	0	В	120	36
<b>Вероятность прерывания</b>		<b>0.748431366</b>			

Вероятность прерывания сильно возросла до 0.748. Но установка дополнительной двери может дорого обойтись. Попробуем перенести пост охраны ближе к цели нарушителя (таблица 3). В результате мы улучшим скорость реагирования до 220 секунд.

Таблица 3 – Модель расчета вероятности прерывания действий нарушителя (фрагмент №3)

<i>Этапы движения нарушителя</i>		Значение вероятности оповещения охраны		Реагирование охраны, с	
				Среднее значение	Стандартное отклонение
		0.95		220	90
Задача	Описание	P(D)	Размещение	Средняя задержка, с	Стандартное отклонение
1	Нарушить целостность ограждения	0	В	10	3
2	Переместится к зданию	0	В	12	3.6
3	Попасть внутрь здания	0.9	В	90	27
4	Переместится к критической зоне	0	В	10	3
5	Преодолеть дверь	0.9	В	90	27
6	Воздействовать на охраняемый объект	0	В	120	36
<b>Вероятность прерывания</b>		<b>0.728556932</b>			

Вероятность прерывания возросла до 0.729, это намного лучше, чем раньше, но немного меньше показателя при установке дополнительной двери. Установим датчик на пути к критической зоне ( $P(D)=0.7$ ), тем самым повысим вероятность обнаружения нарушителя, и укрепим дверь перед объектом (например, дополнительным замком), дабы повысить время на ее преодоление нарушителем (таблица 4).

Таблица 4 – Модель расчета вероятности прерывания действий нарушителя (фрагмент №4)

Этапы движения нарушителя		Значение вероятности оповещения охраны		Реагирование охраны, с	
		0.95		Среднее значение	Стандартное отклонение
Задача	Описание	P(D)	Размещение	Средняя задержка, с	Стандартное отклонение
1	Нарушить целостность ограждения	0	В	10	3
2	Переместится к зданию	0	В	12	3.6
3	Попасть внутрь здания	0.9	В	90	27
4	Переместится к критической зоне	0.7	В	10	3
5	Преодолеть дверь	0.9	В	170	27
6	Воздействовать на охраняемый объект	0	В	120	36
<b>Вероятность прерывания</b>		<b>0.882739219</b>			

Вероятность прерывания возросла до 0.883. Данный показатель является достаточным для рассматриваемого объекта.

Модель EASI позволяет просто и быстро количественно оценить эффективность СФЗ на заранее заданном маршруте нарушителя. На следующих условных примерах приведены схемы объектов и фрагменты расчетов вероятности прерываний с помощью модели EASI. Используя экспертные данные о возможностях нарушителя, действий сил охраны, технических характеристиках средств обнаружения, времени задержки, можно моделировать вероятность прерывания действий нарушителя и выбирать приемлемый вариант системы физической защиты для данного объекта.

Рассмотренные примеры показывают, программа EASI достаточно проста, удобна, не требует от пользователя высокого уровня подготовки для оценки показателя эффективности СФЗ небольших объектов.

#### Список литературы

1. Бояринцев А.В., Бражник А.Н., Зувев А.Г. Проблемы антитерроризма: Категорирование и анализ уязвимости объектов – СПб.: ЗАО «ИСТА–Системс», 2006. – 252 с.
2. Гарсиа М. Проектирование и оценка систем физической защиты / пер. с англ. В.И. Воропаева, Е.Е. Зудина и др. – М.: Мир, АСТ, 2002. – 386 с.
3. Панин О. Проблемы оценки эффективности функционирования систем физической защиты объектов / О. Панин // БДИ. – М., 2007. – №3 (72).

05.13.01

**И.А. Щудро, Н.А. Тишина, Н.П. Мошуров, Ю.Д. Фот**

Оренбургский государственный университет,  
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,  
Оренбург, shudro@mail.ru

## **НЕЙРОСЕТЕВОЙ КЛАССИФИКАТОР КОМПАНИЙ НА ИНФОРМАЦИОННОМ САЙТЕ**

*В статье представлены результаты применения нейронных сетей в задачах ранжирования компаний, предоставляющих товары и услуги на информационном сайте. Представлены этапы разработки нейросетевого классификатора (НСК) с обучением алгоритмом обратного распространения ошибки, определена точность построенного бинарного классификатора.*

Ключевые слова: *нейросетевой классификатор, многослойный перцептрон, бинарная классификация, ранжирование компаний.*

### **Введение**

В задачах поиска информации в современных условиях ссылочной избыточности и с целью повышения релевантности запросов, в сети интернет все чаще используют информационные сайты (сайты-агрегаторы), объединяющие клиентов и компании, предоставляющие товары и услуги [1].

### **1 Основная информация и описание данных**

Для повышения эффективности поиска информации на сайте целесообразно построение ранжированного списка компаний по запросу клиента. С этой целью необходимо решение задачи классификации, исходя из вектора параметров, который сопровождает каждую компанию.

Эффективным инструментом статистического решения задачи бинарной классификации исследуемых объектов являются нейронные сети, способные генерировать большое число логистических регрессий в случае, если функция активации  $f(x)$  имеет вид [2]:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}},$$

где  $x$  – признаки объектов.

В случае разрабатываемой системы, объектами классификации являются компании, представляющие товары и услуги на информационном сайте, а в качестве признаков могут выступать следующие параметры:

$x_1$  – суммарный ранг компании (1÷100);

$x_2$  – конверсия (0÷1);

$x_3$  – средняя оценка (0÷5);

$x_4$  – кэшбэк (0÷15%);

$x_5$  – возраст ресурса (1÷100 дней);

$x_6$  – посещаемость сайта (0÷100 раз в неделю).

### **2 Этапы разработки**

Учитывая важность первого этапа – выбора архитектуры нейронной сети, в работе была построена изначально сеть минимального размера и, далее, постепенно увеличивалась до достижения требуемой точности, при этом на каждом шаге требовалась переобучение нейросети.

Моделирование в программе Academic Deductor, исходя из точности полученных результатов, позволило определить архитектуру многослойной нейронной сети – (6–4–2–1) [2, 3], т.е. многослойный перцептрон с шестью входными параметрами, двумя скрытыми слоями и одним выходом, представленной на рисунке 1.

Из рисунка видно, что НСК состоит из тринадцати нейронов: шесть – на входном слое, четыре – на первом скрытом, два – на втором скрытом и один – на выходном слое.

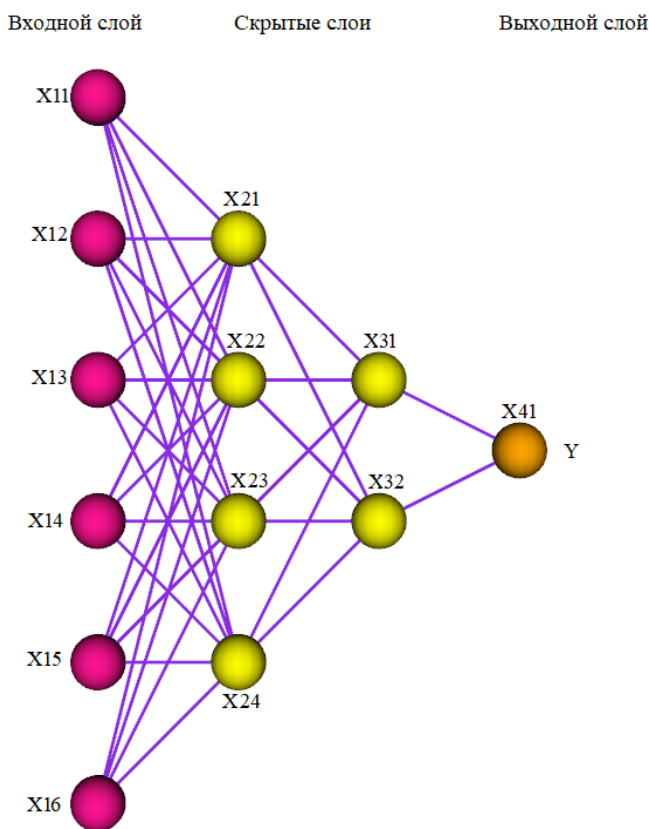


Рис. 1 – Многослойный перцептрон

На втором этапе выполняется нормирование данных, для которого обоснован метод минимакс [3], предполагающий определенность пределов изменения значений признаков в выборке: минимальное и максимальное значения признаков объектов:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Третий этап. Обучение нейронной сети. Нормированные данные обучающей выборки пропускаются через сеть, методом обратного распространения ошибки и определяются веса всех нейронов. Учитывая вероятностную интерпретацию сигналов выходного нейрона в классификационных сетях, полученный результат означает определенную вероятность отнесения указанной потенциальной компании к классу «хороших».

Диаграмма состояний обучения разработанной нейронной сети представлена на рисунке 2.

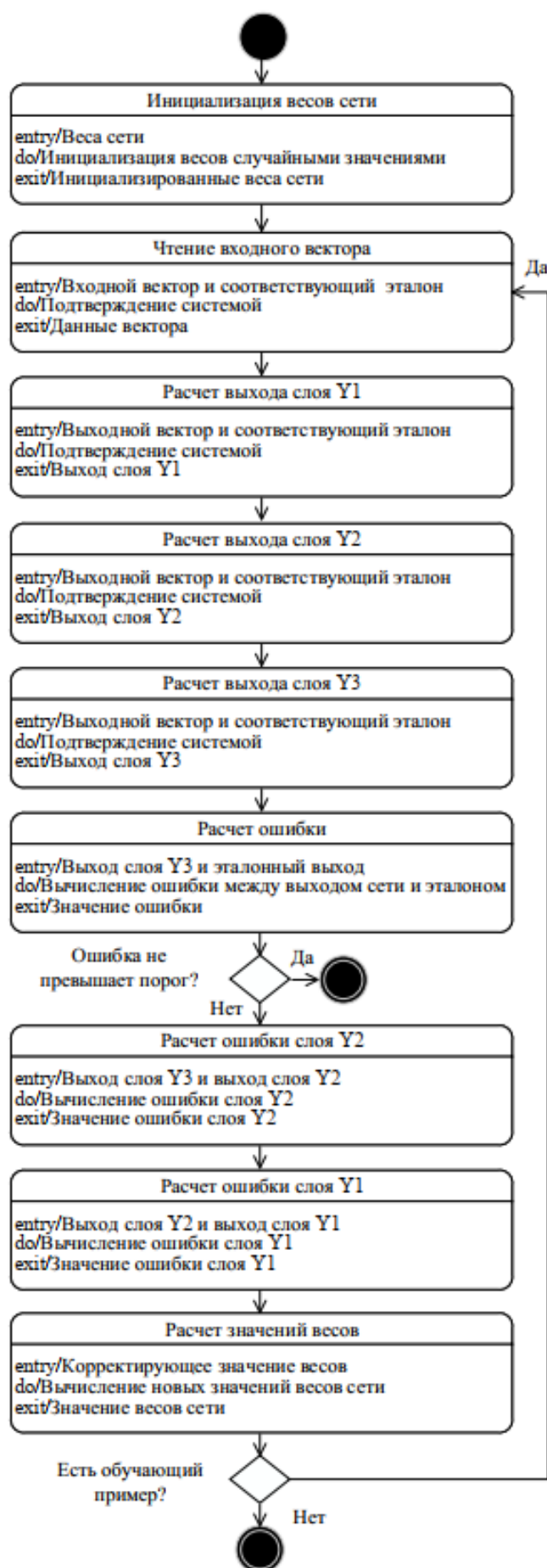


Рис. 2 – Диаграмма состояний обучения нейронной сети



Из диаграммы видно, что в многослойном персептроне предполагается расчет выходных значений трех слоев (Y1, Y2, Y3). Значения каждого слоя сравниваются с эталонами и при условии не превышения ошибок заданного порога, производится расчет весов сети.

При наличии обучающего примера происходит чтение входного вектора параметров. Решение задачи завершается в случае, когда ошибка превышает порог, или отсутствует обучающий пример.

Обучение НСК происходило с помощью программы Academic Deductor с выборкой из 100 компаний на 10000 эпохах. Результат обучения представлен на рисунке 3, из которого видна динамика снижения максимальной и средней ошибок ниже уровня 1,00E – 04.

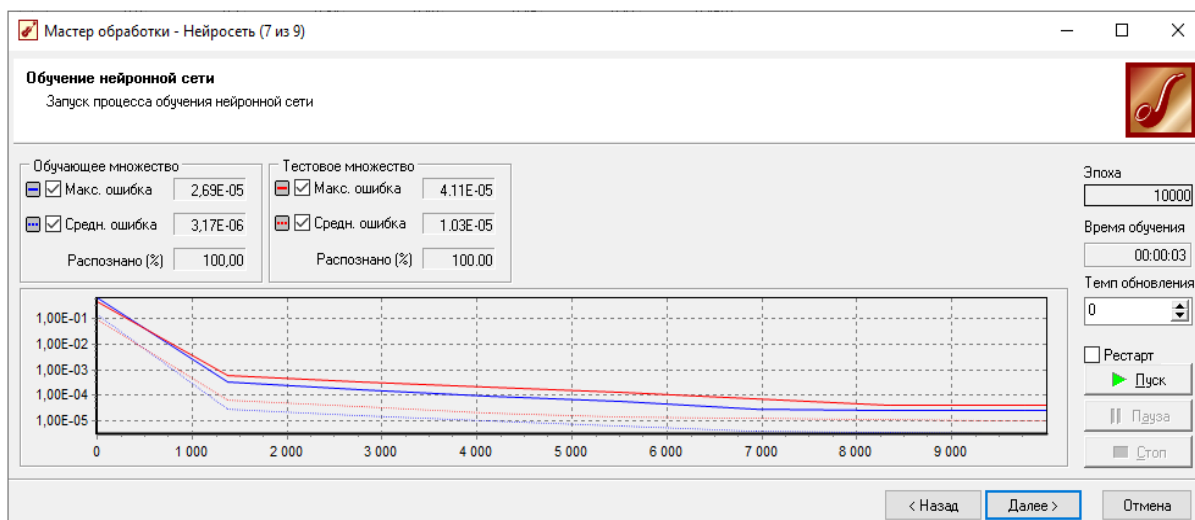


Рис. 3 – Результаты обучение НСК

На четвертом этапе осуществлялось тестирование НСК по запросу пользователя на тестируемом информационном сайте. На рисунке 4 представлена классификационная выборка по восьми компаниям, которая производилась по запросу «детская одежда». Найденные компании с параметрами  $x_1 - x_6$ , представлены в порядке уменьшения ранга.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Суммарный ранг	Конверсия	Ср. оценка	Кешбек	Возраст сайта	Кол. посещений	Класс компании
2	ПЕПЛОС replos.ru	0,670	0,870	0,260	0,620	0,930	1,000	0,725
3	Чемпион championnet.ru	0,900	1,000	0,020	0,900	0,970	0,240	0,672
4	Дочки-Сыночки dochkisinochki.ru	0,800	0,370	0,680	0,200	0,370	0,640	0,510
5	FAMILIA famil.ru	0,700	0,420	0,100	0,120	0,800	0,290	0,505
6	crockid orenburg.crockid.ru	0,110	0,620	0,500	0,880	0,620	0,270	0,500
7	Спорт56 спорт56.рф	0,560	0,750	0,260	0,880	0,040	0,370	0,477
8	Чудо-Юдо chudo-udo.ru	0,220	0,120	0,600	0,120	0,610	0,770	0,407

Рис. 4 – Классификационная выборка по восьми компаниям

С целью определения точности была определена относительная ошибка классификации различными инструментами.

$$d_{\text{отн}}^* = \frac{\Delta^*}{y_t} = \frac{|y_t - \hat{y}_t^*|}{y_t} \cdot 100\%$$

где:  $\Delta^*$  - абсолютная ошибка классификации;  
 $\hat{y}_t^*$  - классифицируемое значение признака;  
 $y_t$  - фактическое значение признака.

Таблица – Точность классификации объектов

Academic Deductor			НСК		
Класс	Фактический	Относительная ошибка ( $d_{отн}^*$ )	Класс	Фактический	Относительная ошибка ( $d_{отн}^*$ )
0,726	0,725	0,138	0,725	0,725	0
0,672	0,672	0	0,671	0,672	0,149
0,510	0,510	0	0,511	0,510	0,196
0,504	0,505	0,198	0,505	0,505	0
0,5	0,5	0	0,499	0,5	0,2
0,477	0,477	0	0,477	0,477	0
0,408	0,407	0,244	0,407	0,407	0
0,385	0,385	0	0,385	0,385	0
Оценки точности		0,058	Оценки точности		0,0545

Из таблицы видно, что относительные ошибки классификации объектов двумя программами соизмеримы и характеризуют высокую точность оценивания.

#### **Заключение**

В статье описаны этапы построения нейросетевого классификатора компаний на информационном сайте, произведена оценка точности ранжирования и представлены результаты тестирования НСК.

#### **Список литературы**

1. Щудро И.А. Интеллектуальные агенты поиска информации в семантической сети: сборник материалов IX Всероссийской конференции с международным участием. Комплексная интеграция производства и ИПИ-технологии / И.А. Щудро. – Оренбург: ОГУ, 2019. – С. 389 – 393. ISBN 978-5-4417-0799-2.
2. Боровиков В.П. Нейронные сети. Statistica Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных / В.П. Боровиков. – 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 392 с.
3. Власенко М. Оценка кредитоспособности физических лиц при помощи инструментария классификационных нейронных сетей / М. Власенко. – Банковский вестник №3. – Республика Беларусь.: «Белорусский Дом печати», 2021. – С. 19 – 29.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (05.13.06)**

05.13.06

**А.Г. Горюнов д-р техн. наук, Б.П. Степанов канд. техн. наук, Е.А. Суханов**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Инженерная школа ядерных технологий,  
Отделение ядерно-топливного цикла,  
Томск, alex1479@tpu.ru, sbp@tpu.ru, eas70@tpu.ru

**ФОРМИРОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ**

*В работе рассмотрены вопросы создания обучающей среды по моделированию процессов функционирования элементов систем безопасности. Предлагаемая концепция обучающей среды позволяет проводить моделирование процессов с учетом особенностей функционирования объекта. Предложена структура среды и принципы ее работы. Сделаны рекомендации по применению аналитического комплекса для обучения специалистов.*

Ключевые слова: *Системы безопасности, обучающая среда, системы физической защиты.*

Создание и функционирование системы безопасности ядерного объекта является одной из главных решаемых задач, при всем его жизненном цикле. Под системой безопасности понимается комплекс инженерно-технических средств, организационные мероприятия и персонал, усилия которого направлены на эффективное взаимодействие составляющих по предотвращению несанкционированных действий в отношении предмета защиты. В качестве примера таких действий можно представить в виде диверсии в отношении уязвимого места ядерной установки, и последствия данном в случае, могут привести к выбросу в окружающую среду радиоактивных веществ и другим более губительным.

Система безопасности объекта содержит набор типовых составляющих, например, датчиков обнаружение, видеокамер и других. Но их расположение, количество и другие параметры будут меняться в зависимости от особенностей объекта, его технологических процессов, способа и системы организации охраны.

Организация управления и контроля работы системы безопасности осуществляется с применением автоматизированных систем, где оператор играет главную роль. Следовательно, эффективность таких систем будет зависит от правильности действия оператора, по мимо её структуры. Подготовка и обучения работников является длительной и сложной, в том числе из-за множества взаимодействия с различными ведомственными структурами. Выражаясь другими словами, создание внештатных ситуации искусственно и целенаправленно может быть опасно для людей и окружающей среды.

Современные компьютерные технологии позволяют развивать способы обучения и подготовки персонала. Уже на сегодняшний день, в мировой практике применяются различные тренажеры. Например, в 2021 году Ленинградская АЭС провела испытания тренажера для обучения электротехнического персонала на базе технологий виртуальной реальности [2]. Несмотря на то, что тренажеры обладают рядом преимуществ при подготовке персонала, у всех них можно выделить недостаток.

Главным недостатком таких тренажеров является строгая привязка к технологическому процессу (т.е. объекту тренировки), тем самым создавая необходимость разрабатывать постоянно новые тренажеры для каждого предприятия. Это как следствие приводит к повышению затрат и ограничивает возможность применения тренажеров.

Одним из способов решений данной проблемы, является создание платформы, которая будет содержать в себе необходимые набор инструментов, позволяющего учитывать технологические процессы и видоизменять при необходимости. Рассмотрим более подробно протекающие процессы в обучающей среде.

На первоначальном этапе, необходимо сформировать ядерный объект с его системами безопасности. Для этого в обучающей среде предполагается разработка двух модулей. Первый модуль будет отвечать за формирование самого объекта с учетом его особенностей, а также формирование исходных данных об угрозах. В результате работы модуля формируется некоторый объект, на котором уже размещаются непосредственно элементы системы безопасности, с использованием второго модуля. В результате работы получается модель объекта с элементами системы безопасности, представленными в трехмерном графическом виде.

Разработанная на первом этапе модель применяется для тренировки и обучения оператора систем безопасности. Предполагается в обучающей среде предусмотреть два режима обучения. Разница в данных режимах заключается в выполнении роли противника противнике, а именно в первом варианте в качестве противника выступает компьютер, а во втором случае человек выполняющий роль нарушителя. Тем самым среда позволяет выполнять тренировку навыков оператора пункта управления не только в присутствия другого человека, но самостоятельно.

Планируется внедрения искусственного интеллекта, при сборе данных по взаимодействию нарушителя системой безопасности. Данный внедрение позволит проводить различное моделирование и последующий анализ результатов действия оператора.

По результатам данных вышеупомянутых этапов, происходит моделирование ситуации взаимодействия нарушителя и элементов системы безопасности.

Таким образом, можно представить среду в виде некоторого набора блоков, которые отвечают за решение определенной задачи. На рисунке 1 схематично представлено набор блоков обучающей среды и последовательность их действия.

Эффективная работа автоматизированных систем безопасности зависит от человека, особенно в чрезвычайных условиях, когда необходима быстрая реакция и адаптация к изменчивой ситуации оператором, в рамках установленных процедур.

Предлагаемая обучающая среда позволит отрабатывать действия оператора пункта управления в штатных и чрезвычайных ситуациях с учетом особенностей объекта и технологических процессов. Отличительной особенностью обучающей среды от тренажеров является возможность самостоятельно производить моделирование объекта и элементов систем безопасности.

А применение искусственного интеллекта в системе «нарушитель – система безопасности» позволит отработать различный спектр сценариев, тактик и ситуаций, связанных с несанкционированными действиями. Это приведет к повышению уровня подготовки работника пункта управления, а также позволит найти уязвимые места в системах безопасности так как происходит моделирование подсистемы «нарушитель – техническое средство системы безопасности».

Обучающая среда позволяет свести до минимума грань между теоретическими и практическими занятиями, тем самым повышая эффективность и качество получаемых знаний и подготовки к реальным ситуациям. Таким образом, обучающая среда позволяет повысить степень подготовки персонала системы, а, следовательно, эффективность систем безопасности.

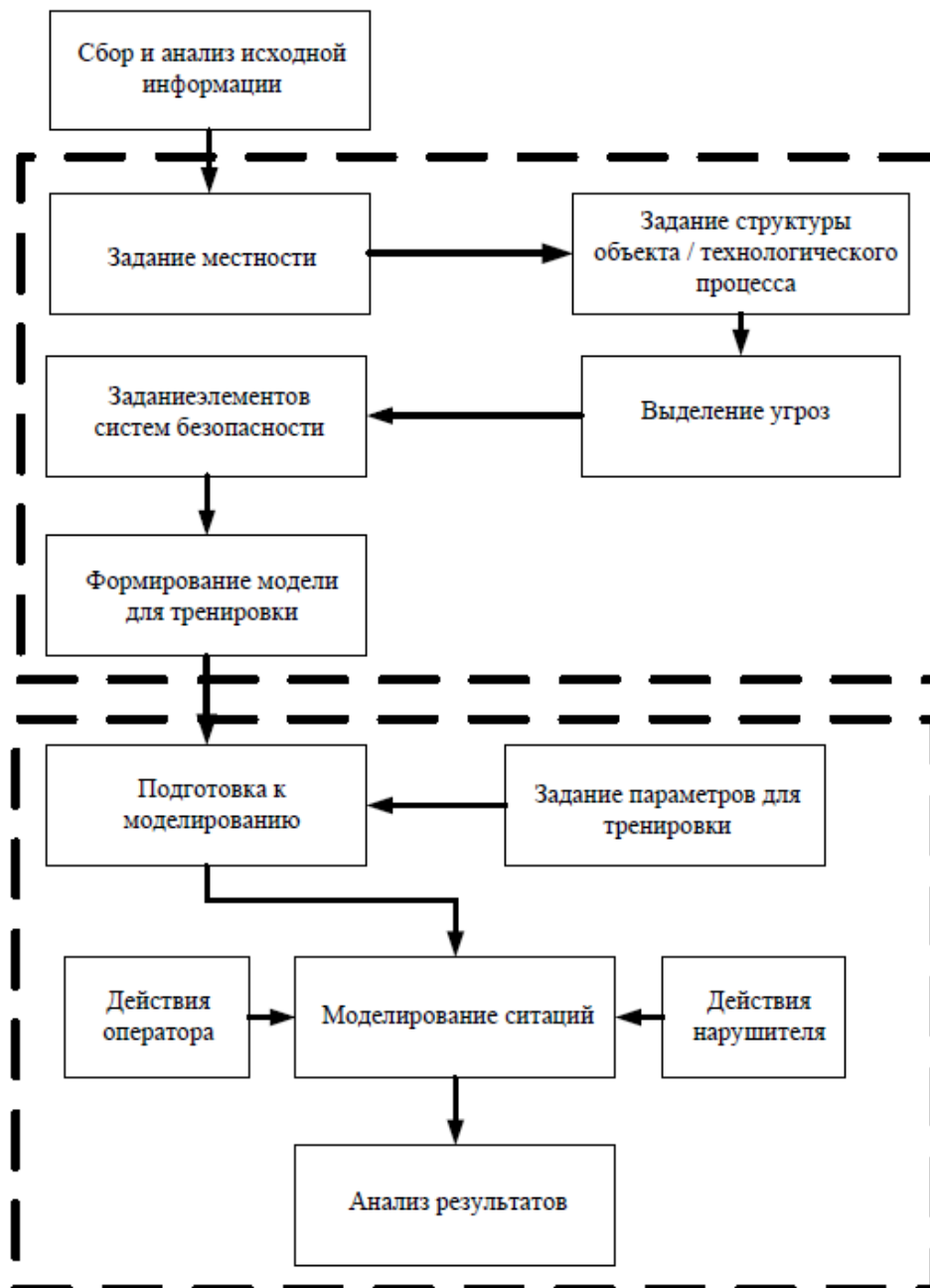


Рис. 1 – Схема блоков последовательности действий в обучающей среде

### Список литературы

1. Физическая защита ядерных объектов: Учебное пособие для вузов // П.В. Бондарев, А.В. Измайлов, А.И. Толстой; Под ред. Н.С. Погожина. – М.: МИФИ, 2008. – 584 с.: илл.
2. На Ленинградской АЭС протестирован VR-тренажер для обучения электротехнического персонала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosatom.ru/journalist/news/na-leningradskoy-aes-uspeshno-protestirovan-ne-imeyushchiy-analogov-v-rossii-trenazher-dlya-obucheni/> (дата обращения 17.01.2022).
3. Суханов Е.А., Селиваникова О.В. Программно-аналитический комплекс по проектированию и оценке защищенности периметра ядерного объекта // Известия высших учебных заведений. Физика. 2021. Т. 64. № 2-2 (759). С. 113-118.
4. Качала Вадим Васильевич. Теория систем и системный анализ: учебник / В. В. Качала. – Москва: Академия, 2013. – 265 с.: ил. – Высшее образование. Бакалавриат. – Информатика и вычислительная техника. – Библиогр.: с. 256-260.

05.13.06

**А.В. Каменев, А.В. Коськин д-р техн. наук**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,  
институт приборостроения, автоматизации и информационных технологий,  
кафедра информационных систем и цифровых технологий,  
Орел, alex57\_95@mail.ru, kav1959@rambler.ru

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИНТЕГРАЦИИ МЕЖВУЗОВСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕК**

*В статье рассматриваются вопросы проектирования архитектуры системы автоматизации интеграционных процессов межвузовских электронных библиотек. Ключевым моментом, описанным в статье, является разбиение системы на отдельные подсистемы и модули, благодаря чему уменьшается связанность компонентов между собой. Рассмотрена архитектура каждой из выделенных подсистем, а также описано применение архитектуры, ориентированной на события, в тех частях, где требуется асинхронное взаимодействие компонентов.*

Ключевые слова: *архитектура системы, интеграция данных, межвузовские электронные библиотеки, подсистемы и модули.*

### **Введение**

При создании любой информационной системы особое внимание уделяется проектированию её архитектуры. Архитектура информационной системы представляет собой наиболее абстрактное её представление, которое включает в себя идеализированные модели компонентов системы, а также модели взаимодействий между компонентами. [1]

При построении архитектуры должны быть заложены такие свойства будущей системы, как слабая связанность элементов архитектуры между собой, тестируемость, ремонтпригодность, надежность, простота обслуживания и эксплуатации, защищенность системы от несанкционированного доступа и неквалифицированных пользователей, модифицируемость, функциональная расширяемость и др.

### **Разбиение системы автоматизации на подсистемы**

Построение архитектуры начинается с проведения декомпозиции системы на подсистемы и модули. Такое разбиение позволяет компонентам системы не зависеть друг от друга (принцип слабой связанности). Можно выделить следующие подсистемы в системе автоматизации: подсистема запроса данных из библиотек вузов, подсистема обработки и сохранения данных, подсистема сбора статистики, подсистема администрирования.

Каждая из подсистем должна отвечать принципам абстракции и инкапсуляции. Например, подсистема обработки данных ожидает на вход только данные в формате XML, не зная при этом, в каком формате эти данные хранятся в библиотеках вузов и какие манипуляции с ними проводились (эти процессы сокрыты внутри подсистемы запроса данных). Такое поведение становится возможным благодаря использованию интерфейсов, входящих в API подсистем и модулей.

При проектировании чистой архитектуры необходимо применять оптимальные решения, наработанные при реализации различных проектов. В частности, к таким решениям можно отнести семейство шаблонов проектирования GOF. Шаблоны, в зависимости от решаемых задач, делятся на порождающие, структурные и поведенческие.

Для того чтобы собрать все доступные классы и объекты подсистем воедино, используется структурный GOF-шаблон проектирования «Фасад», который предоставляет простой интерфейс к сложной системе объектов, библиотеке или фреймворку. [2]

Так как взаимодействие между компонентами системы осуществляется с использованием веб-технологий, всё общение между ними происходит посредством REST-API. Так как некоторые компоненты могут располагаться на разных вычислительных устройствах, необходимо также иметь сведения о его IP-адресе для автоматической установки соединения.

Подсистемы, в свою очередь, состоят из модулей. Каждый модуль выполняет строго отведенную ему задачу. При этом разбиение на модули должно также происходить в соответствии с упомянутым выше принципом слабой связанности.

### Проектирование архитектуры подсистем

Подсистема запроса данных из библиотек вузов выполняет следующие задачи: отправляет запросы к библиотечным системам вузов, рассчитывает интервалы отправки запросов к каждой из библиотек, валидирует и конвертирует данные во внутренний формат МЭБ, кеширует запрашиваемые данные. [3]

На рисунке 1 представлена работа подсистемы запроса данных МЭБ.

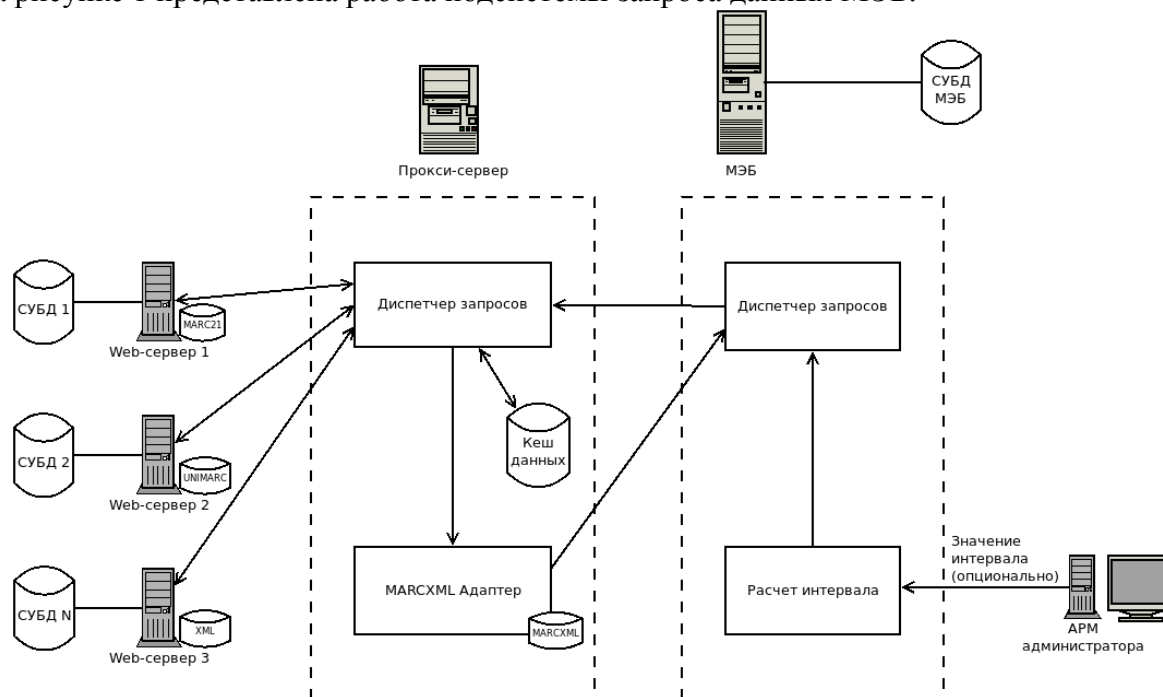


Рис. 1 – Подсистема запроса данных МЭБ

Для осуществления запросов к внешним базам данных используется прокси-сервер, который производит преобразование данных из форматов библиотек вузов к единому формату, с которым работает МЭБ. Для осуществления преобразований применяется структурный GOF-шаблон проектирования «Адаптер». Он позволяет объектам с несовместимыми интерфейсами работать вместе. [2] Для того чтобы МЭБ могла работать с данными в различных форматах, адаптер осуществляет мапирование полей исходного формата данных во внутренний формат системы. [4]

Для отправки запросов и приема ответов используются диспетчеры запросов. Именно они осуществляют отправление и прием данных по определенным адресам в сети, используя REST-подход. Диспетчер также осуществляет маршрутизацию запросов, то есть определяет, какой из известных контроллеров должен его обработать.

Помимо описанных возможностей подсистема осуществляет автоматическое регулирование частоты отправки запросов во внешние библиотеки на основе различных параметров.

После того как данные были получены из библиотек вузов, они должны пройти некоторую обработку, после чего происходит их сохранение в базу данных МЭБ. Эти операции производит подсистема обработки и сохранения данных.

Стоит отметить, что при обработке библиографических записей предполагается работа с большими массивами данных. Сопутствующие операции требовательны к ресурсам. Очевидно, что проводить их в однопоточной среде недопустимо. Чтобы не блокировать работу информационной системы, при разработке подсистем МЭБ необходимо активно использовать многопоточность. Однако с её применением встает вопрос о последовательном выполнении зависящих друг от друга операций. На помощь в таких ситуациях приходит событийно-ориентированная архитектура. Она позволяет сделать выполнение программного кода асинхронным в многопоточных средах.

Событийно-ориентированная архитектура может быть применена в разных частях системы. Для этого достаточно зарегистрировать обработчики (слушатели) событий. Зная о том, какие в системе имеются слушатели, и какие события каждый из них готов обработать, диспетчер событий может определить, куда передать управление при наступлении того или иного события. [5] Так, событийно-ориентированная архитектура лежит в основе подсистемы сбора статистики. Основу здесь составляет реализация поведенческого шаблона проектирования «Наблюдатель». Он создаёт механизм подписки, позволяющий одним объектам следить и реагировать на события, происходящие в других объектах. [2]

Под сбором статистики в МЭБ понимается процесс сбора данных об активности каждого из вузов-участников, а также сбор данных о числе изданий, доступных в МЭБ, и сопутствующая статистическая информация об их использовании. Для этого подсистема сбора статистики «подписывается» на события получения данных из библиотек вузов и загрузки данных в БД МЭБ. На рисунке 2 показан процесс оповещения подсистемы сбора статистики о произошедших событиях.

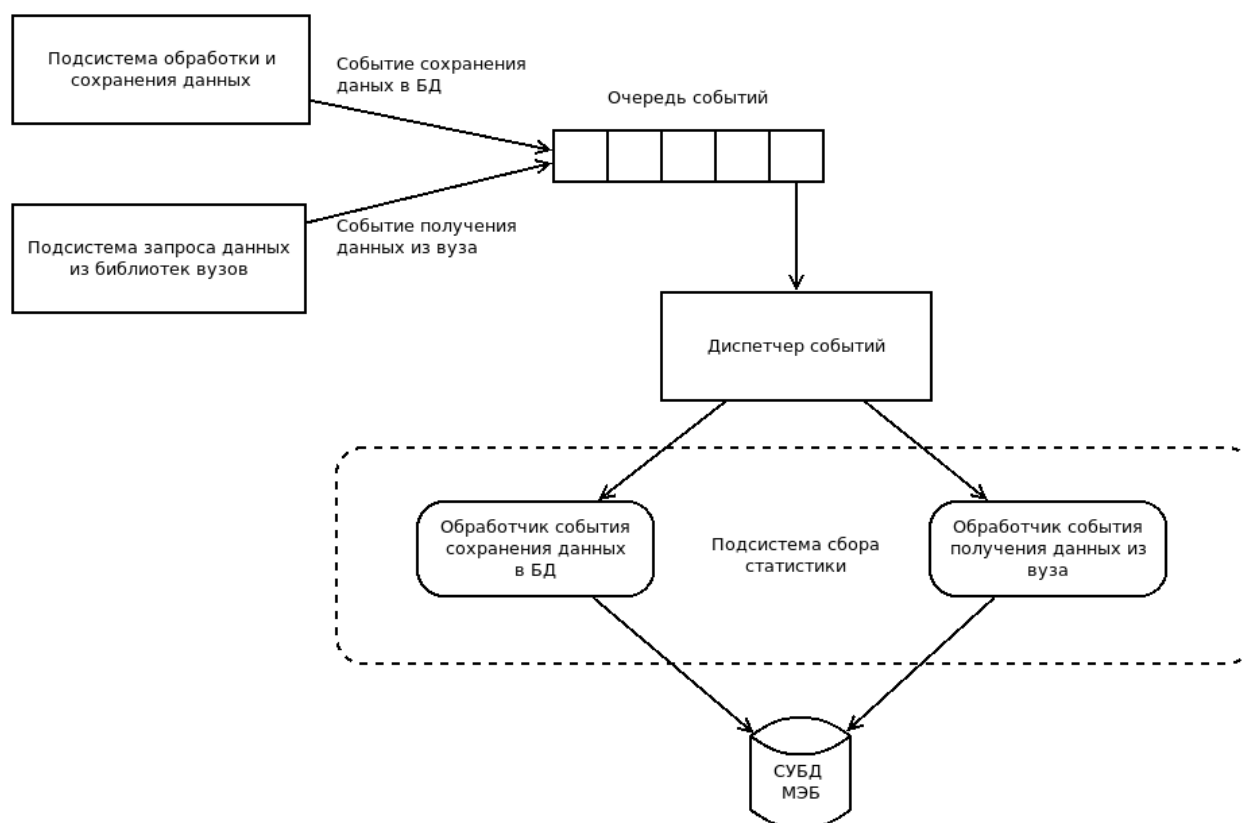


Рис. 2 – Оповещение подсистемы сбора статистики о событиях

Наконец, рассмотрим подсистему администрирования. Её основная задача – предоставить администратору МЭБ возможность проводить настройку системы автоматизации, а также осуществлять контроль за протекающими в МЭБ процессами. Для осуществления последней задачи в МЭБ добавлен модуль визуализации, который отвечает за вывод по запросу пользователя данных из БД в браузер. С его помощью данные преобразуются в удобочитаемый и понимаемый человеком формат.



Итак, система автоматизации представляет собой набор взаимосвязанных компонентов, позволяющих (при определенной настройке) в автоматическом режиме запрашивать библиографические данные из вузов-участников коллаборации.

#### Выводы

1. Интеграционные процессы, протекающие в межвузовских электронных библиотеках, требуют тщательной проработки архитектуры, чтобы избежать множества проблем на этапе ввода информационной системы в эксплуатацию.

2. Разбиение системы на подсистемы и модули позволит разделить логику приложения, уменьшив связанность его компонентов.

3. Применение событий при обработке запросов позволяет еще больше абстрагировать отдельные модули друг от друга.

4. REST-архитектура является наиболее подходящей технологией для реализации задачи обмена данными в веб-пространстве.

#### Список литературы

1. Клар Жд. Системология. Автоматизация решения системных задач. / Жд., Клар. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
2. Э. Гамма Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. Паттерны объектно-ориентированного проектирования / Пер. с англ.: А. Слинкин. — СПб.: Питер, 2021. — 448 с. — ISBN 978-5-4461-1595-2.
3. Каменев А.В. Схемы автоматизации процессов интеграции данных межвузовских электронных библиотек / А.В. Каменев, А.В. Коськин // Информационные системы и технологии. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2021, № 2(124). – С. 32-38.
4. Каменев А.В. Преобразование данных из внешних форматов передачи библиографических записей во внутреннее представление межвузовской электронной библиотеки // Инновационно-инвестиционный фундамент развития экономики общества и государства: от научных разработок к практике: сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции, г. Санкт-Петербург 27-28 декабря 2021. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2021. – С. 39-41.
5. Event-Driven Architecture | IBM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibm.com/cloud/learn/event-driven-architecture> (дата обращения: 22.01.2022).

05.13.06

<sup>1</sup> Н.В. Карабонцева, <sup>1</sup> Г.А. Мацур, <sup>2</sup> М.В. Карабонцева,  
<sup>1</sup> К.А. Вотяков, <sup>1</sup> В.А. Серик, <sup>1</sup> В.В. Мироненко, <sup>1</sup> А.А. Савельева

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева,  
институт информатики и телекоммуникаций,  
кафедра системного анализа и исследования операций,

<sup>2</sup>Акционерное общество «Красноярский машиностроительный завод»,  
Красноярск, karabonцева@mail.ru, matsur.german@yandex.ru, kirillvotyakov\_96@mail.ru,  
dajjestserik@yandex.ru, mironenko.vlad2011@yandex.ru, a.saveleva98@mail.ru

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

*Изготовление сложнопрофильных элементов конструкций на машиностроительных предприятиях требует внедрения современных методов контроля и проведения измерений. Привычные методы мониторинга – шаблоны, измерительные приборы и инструменты – уступают место КИМ, которые способны решить ряд задач: проведение прецизионных измерений изделий сложной формы. Актуальность темы обусловлена тем, что разработка датчиков КИМ является продолжением процесса совершенствования измерительных процессов в производстве машиностроения.*

Ключевые слова: *щуп, измерения, контроль, качество, координатно-измерительная машина.*

Современное машиностроительное производство требует повышения точности и производительности измерений. В настоящее время активно используются координатно-измерительные машины (КИМ). Их преимуществами по сравнению с другими средствами измерения и контроля являются быстрая скорость получения данных, высокая точность измерений, автоматизированный метод измерения, а также измерение поверхностей сложного профиля [1]. В быстро меняющемся мире выигрывает то предприятие, которое готово предоставить клиенту более качественную продукцию. В связи с этим контроль качества продукции на производстве выходит на первый план. Сейчас уже уходят в прошлое контроль деталей по шаблонам либо универсальными средствами измерений. Намного быстрее и точнее измерения позволяют произвести КИМ. Также становятся все больше деталей, которые нельзя проконтролировать универсальными средствами измерений. Это сложнопрофильные детали типа турбинных лопаток и прочих «рабочих колёс». А для КИМ решение таких задач не представляет труда. Тем самым предприятия, имея в своем «штате» КИМ экономят на проектировании, изготовлении, калибровке и поддержании в рабочем состоянии целого склада различных калибров и универсальных средств измерений.

Современные КИМ представлены широким модельным рядом, что позволяет выбрать машину в соответствии с решаемыми измерительными задачами, условиями (температура, давление, влажность, запыленность) и финансовыми возможностями предприятия.

Универсальность КИМ достигается развитым программно-математическим обеспечением с большим набором модульных программ для измерения деталей с различными простыми и сложными поверхностями; системой измерительных головок касания с большим набором щупов различной конфигурации. Измерительные головки оснащаются наборами измерительных наконечников, обеспечивающих возможность контроля максимально большого числа геометрических параметров при одной установке детали, а также контроля диаметров отверстий, концентричности, межосевых расстояний, такие наконечники называются датчиками касания. Датчик касания записывает координаты всех точек на поверхности измеряемой детали или другого объекта.

Более сложные машины оснащены сканирующими зондами, которые перемещаются по измеряемой поверхности, собирая точки измерения с заранее запрограммированными интервалами.

В некоторых случаях контактные зонды могут быть заменены оптическими сканирующими зондами. Эти сканирующие зонды используют отражения света для триангуляции точек измерения на поверхности объекта. В последнее время достижения в области технологий позволили оптическим сканерам повысить точность и дальность действия. В результате автономные оптические сканеры заменяют для некоторых приложений.

В зависимости от производственных задач, требуется контактное или бесконтактное сканирование сложнопрофильных деталей. Контактные измерительные датчики позволяют выполнять измерения в отдельных точках, что делает их идеальным средством для измерений на 3-мерных деталях известной геометрии. Сканирующие датчики способны считывать каждую секунду координаты нескольких сотен точек, что дает возможность измерять параметры формы элемента, а также размер и положение с помощью ощупывания детали. Для установки датчика касания в систему машины используется специальная головка. Тип головки зависит от требуемой степени универсальности и автоматизации измерений. С помощью головок можно повысить скорость выполнения контактных измерений и выполнять на обычных 3-осевых КИМ 5-осевые измерения. Моторизованные головки также совместимы с системой для автоматической смены датчиков, которая быстро и в автоматическом режиме позволяет выполнять смену разных удлинителей и контактно-измерительных модулей.

Бесконтактная система представлена лазерным сканером, который получая данные отраженного излучения, формирует сканы. Данный вид сканирования является более распространенным и экономически выгодным. Метод сканирования идеален для контроля отклонений от геометрической формы: облако из нескольких тысяч точек, получаемое при сканировании, несет гораздо более полную информацию об изделии, нежели координаты нескольких дискретных точек касания. Таким образом, при сканировании в течение короткого промежутка времени может быть получен огромный объем ценной и исчерпывающей информации [2].

Особенности бесконтактного измерения:

- оцифровка объектов с практически любым типом поверхности в произвольной форме;
- доступность для сканирования объекты крупных размеров;
- возможность применения на большом разнообразии материалов;
- реверс-инжиниринг;
- сканирование детали с сильными цветовыми переходами.

Качество контактного метода измерений может ухудшаться из-за влияния ряда факторов: использования щупа с шариком, имеющим значительное отклонение круглости (налипшая стружка металла), неверного расположения шара, некачественной посадки резьбы или неверно выбранной конструкции, которая становится причиной избыточного изгиба при измерении. Качество бесконтактного измерения дает оптимизацию для сканирования сложных поверхностей, но в ряде случаев играет роль температурная стабильность условий [3].

Внедрение КИМ с различными видами датчиков в производственный процесс давно стало показателем современного подхода деятельности предприятия для обеспечения сборки надёжного агрегата(узла). Отказ от устаревших подходов к контролю сложнопрофильных деталей и оснастки с задействованием шаблонов повышает и качество сборки, и технологическую эффективность рабочего участка, уменьшая при этом трудоемкость процесса измерения. Единственным недостатком прогрессивных систем КИМ с датчиками этого типа является высокая стоимость и дороговизна обслуживания. На данном этапе лазерные модели координатно-измерительных установок доступны только крупным производственным комплексам, а также исследовательским центрам [4].

Щупы представляют собой решающий фактор при выполнении любого измерения, поскольку именно через них осуществляется взаимодействие между датчиком и деталью. Они обеспечивают доступ к элементам на детали и должны надежно передавать в датчик информацию о положении поверхности. Для того чтобы добиться точных измерений, щупы должны быть изготовлены из компонентов высокой точности; каждый из этих компонентов должен быть изготовлен из тех материалов, которые соответствуют требованиям конкретной задачи. Правильно выбранный щуп позволяет получать непротиворечивые и надежные результаты.

Таким образом, выбор датчика (или датчиков) зависит главным образом от рассматриваемой измерительной задачи, необходимо определиться с кругозором ваших метрологических измерений, требуемой точностью и диапазоном измерений машины. Следует также иметь в виду, что для обеспечения долгой, стабильной и надежной работы датчиков машины, помещение, в котором устанавливается КИМ, должно соответствовать требованиям технической документации.

#### ***Список литературы***

1. *Братухин А.Г.* Координатно-измерительные машины и комплексы // Наука и технологии в промышленности, №3, 2011, с. 36 – 48.
2. *Васильева А.А., Абляз Т.Р.* Исследование процесса измерения корпусных деталей на координатно-измерительной машине CARL ZEISS CONTRA G2 / Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета, том 17, №3, 2015, 32–40 с.
3. *Тихонравов А.В.* Разработка информационно-измерительных и управляющих систем координатно-измерительных машин и измерительных роботов: дис. канд. техн. наук : 05.11.16 Москва, 2006, 119 с.
4. *Гатиш А.А., Каспарайтис А.Ю., Модестов М.Б., Раманаукас В.А., Серков Н.А., Чудов В.А.* Координатные измерительные машины и их применение. М.: "Машиностроение", 1988 г., 328 с.

05.13.06

<sup>1</sup>Н.В. Карабонцева, <sup>1</sup>Г.А. Мацур, <sup>2</sup>М.В. Карабонцева, <sup>1</sup>К.А. Вотяков,  
<sup>1</sup>В.А. Серик, <sup>1</sup>В.В. Мироненко, <sup>1</sup>А.А. Савельева

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева,

институт информатики и телекоммуникаций,  
кафедра системного анализа и исследования операций,

<sup>2</sup>Акционерное общество «Красноярский машиностроительный завод»,  
Красноярск, karabonceva@mail.ru, matsur.german@yandex.ru, kirillvotyakov\_96@mail.ru,  
daijestserik@yandex.ru, mironenko.vlad2011@yandex.ru, a.saveleva98@mail.ru

### УСТРАНЕНИЕ АДГЕЗИОННОГО ИЗНОСА ЩУПА КИМ ОТ ОКИСНОЙ ПЕЛЕНА АЛЮМИНИЯ

*В основе изготовления качественных изделий авиастроения, машиностроения и радиоэлектроники лежит точность, которая задается конструкторской документацией. Большая доля контрольных операций в усовершенствованном производстве приходится на измерение угловых и линейных размеров. Особо широкое распространение при контроле качества в современном производстве получили координатно-измерительные машины. Актуальность выбранной темы обусловлена высоким уровнем контроля качества выпускаемых предприятием деталей с целью повышения качества конечного агрегата(узла).*

Ключевые слова: щуп, измерения, контроль, качество, координатно-измерительная машина.

КИМ – это средство измерения, предназначенное для проведения координатных измерений. Именно поэтому на ведущих предприятиях машиностроительной отрасли широко используются координатно-измерительные машины. Данное оборудование позволяет оптимизировать процесс контроля, возможность полной автоматизации как на этапе реализации координатного метода измерений, так и на этапе обработки результатов этих измерений.

Абсолютно любые средства и методы контроля обречены иметь погрешности. КИМ не являются исключением. Погрешности могут появляться если не соблюдена правильная методика измерений, происходит постоянное несоответствие требуемых параметров измерений или некорректно работает измерительное устройство.

КИМ обеспечены оптическими или контактными датчиками, которые можно выбирать оператору машины самостоятельно в зависимости от задачи измерения и контроля качества выпускаемой продукции. Все вместе обеспечивает оптимальное сочетание инструментов для решения разного рода задач.

Щуп (рис. 1) представляет собой ту часть измерительной системы, которая соприкасается с деталью, приводя к срабатыванию датчика. Генерируемый сигнал позволяет получить данные измерений. Тип и размер используемого щупа определяется элементом детали, который необходимо измерить. Однако в любом случае самыми важными характеристиками щупа являются его жесткость и степень сферичности его наконечника.

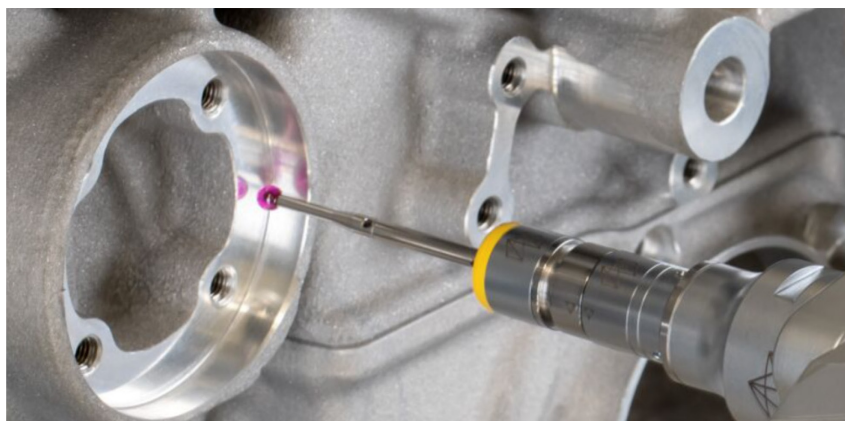


Рис. 1 – Конфигурация измерительного щупа

Как правило, в триггерных и аналоговых датчиках используются несколько материалов, из которых изготовлен щуп (наконечник):

- Синтетический рубин (рис. 2) относится к материалам, которые используются для обширного ряда измерительных задач. Синтетический рубин оптимально сочетает в себе высокую твердость и невысокую стоимость. Несмотря на обширность ряда измерительных задач, существует два случая, при которых необходимо использовать щупы других материалов. Это сканирование по алюминию при тяжелом режиме работы и сканирование по чугуну.

- Нитрид кремния (рис. 2). Это очень твердый и износостойкий керамический материал, из которого при обработке можно получать сферы высокой точности. Поверхность шарика может быть дополнительно отполирована. Нитрид кремния не притягивает частицы алюминия, поэтому, в отличие от рубина, этот материал не подвержен адгезионному износу. Однако нитрид кремния имеет значительный абразивный износ при сканировании по стальным поверхностям, поэтому область его применения ограничивается главным образом алюминием.

- Двоокись циркония (рис. 2) представляет собой исключительно прочный керамический материал, по твердости и износу мало уступающий рубину. Благодаря поверхностным свойствам материал идеально подходит для выполнения сканирования в жестких условиях на деталях из чугуна.



Рис. 2 – Виды наконечников

Синтетический рубин является материалом, имеющим самую высокую твердость, исключительно гладкую поверхность, большую прочность на сжатие и высокую стойкость к механической коррозии. Несмотря на имеющиеся недостатки в виде адгезионного и

абразивного износа, именно синтетический рубин является стандартом в отрасли и оптимальным материалом для изготовления шарика щупов. Так как синтетический рубин представляет собой 99%-ную окись алюминия, то при взаимодействии рубинового наконечника с алюминиевой поверхностью на нем образуется окисная пелена (рис. 2).

При большом налипании алюминия наконечник теряет сферическую форму, что способствует низкому уровню контроля качества выпускаемых предприятием деталей и снижению качества конечного агрегата (узла).[2]

Целью предлагаемого технического решения является очистка рубинового щупа КИМ от окисной пелены алюминия в химическом растворе.

Поскольку все алюминиевые детали на производстве проходят процесс травления химическим раствором для достижения данной цели было решено применить процесс химического травления и на рубиновом наконечнике. Для этого использовали раствор NaOH 40–60гр/л., при температуре работы ванны травления 50–70 С<sup>0</sup>. Время травления составляет 2–2.5 мин. [3]

В нашем случае травлению подвергался щуп (наконечник) Ø5 мм. Процесс калибровки щупов проходил при помощи керамической сферы Ø25 мм. Все экспериментальные контрольные измерения были проведены на одной и той же аттестованной КИМ портального типа и проходили в измерительной лаборатории. В ходе повторной калибровки были выдержаны идентичные температурные и влажностные показатели.

Перед химическим процессом травления наконечник с налипшим слоем алюминия был откалиброван. Результат с погрешностью измерений при помощи данного наконечника представлен на рис. 3.

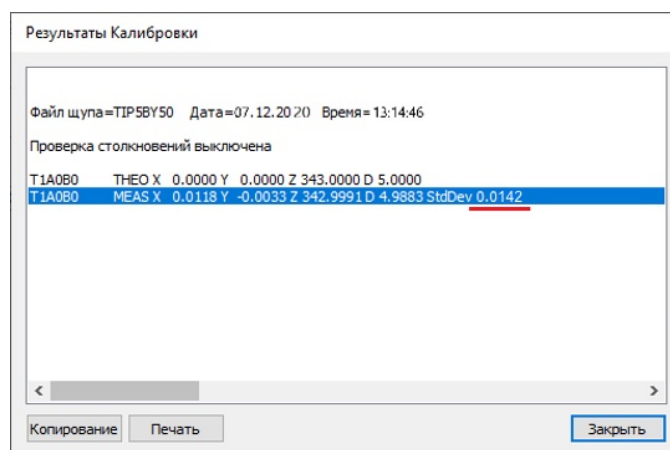


Рис. 3 – Калибровка щупа до травления

После процесса травления щуп был повторно откалиброван. Результат с погрешностью измерений при помощи наконечника после процесса травления представлен на рис. 4.

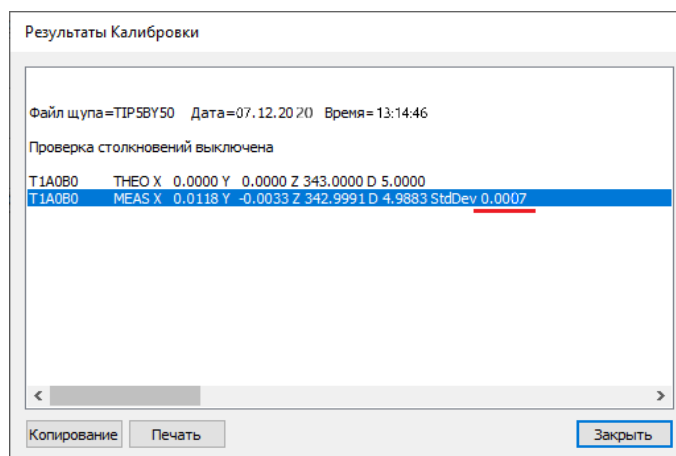


Рис. 4 – Калибровка щупа после травления.

Разница погрешностей до и после травления рубинового наконечника оказалось существенная, порядка 0.0135 мм.

Таким образом, предлагаемое техническое решение имеет следующие преимущества:

- сохраняется высокая точность измерения алюминиевых деталей;
- сокращаются затраты на приобретение новых щупов;
- высокое качество конечного агрегата (узла).

#### **Список литературы**

1. Материалы щупов/[электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <https://www.renishaw.ru/ru/styli-materials--6423> (12.12.2020)
2. Васильева А.А., Абляз Т.Р. Исследование процесса измерения корпусных деталей на координатно-измерительной машине CARL ZEISS CONTRA G2 / Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета, том 17, №3, 2015, 32–40 с.
3. Физико-химические процессы в технологии машиностроения / [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/243/67243/40286?p\\_page=7](http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/243/67243/40286?p_page=7) (25.12.2020)



05.13.06

**А.Х. Тазмеев, А.Г. Николаев, А.Н. Илюхин, Э.Л. Хазиев, Е.В. Зубков**

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
кафедра информационных систем,  
Набережные Челны, tazmeev@gmail.com

## **МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВНОГО КОПИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН HYPER-V**

*Спроектирована и реализована система резервного копирования виртуальных машин Hyper-V. Созданное программное обеспечение позволило сделать процесс автономным и выполнять его по расписанию, сжимать и перемещать копии на файловое хранилище, при этом в несколько раз уменьшив занимаемое пространство на диске для одной копии.*

Ключевые слова: проектирование систем, технологии резервного копирования, хранение данных, диаграммы.

В настоящее время всё чаще под нужды предприятий используются виртуальные серверы. Технологии виртуализации являются оптимальными, ввиду своей гибкости и универсальности. С помощью виртуализации появляется возможность удобно масштабировать, создавать резервные копии, восстанавливать и администрировать корпоративные серверы. Одна из основных технологий виртуализации – это Hyper-V [1]. Для предприятий Hyper-V является удобным инструментом, встроенным в операционную систему Windows.

Hyper-V – это одна из технологий виртуализации, позволяющая запускать на одном мощном физическом сервере или кластере множество виртуальных операционных систем. Эти системы именуются «гостевыми», а система, установленная на физическом сервере – «хостовой».

Эти изолированные окружения называются виртуальными машинами (или сокращенно – VM). Виртуальные машины реализуются программно и предоставляют гостевой системе и приложениям доступ к аппаратным ресурсам сервера посредством гипервизора и виртуальных устройств.

Каждая виртуальная машина – это изолированная виртуальная система, на которой работает своя операционная система. Экономичная и стабильная среда виртуализации Hyper-V может одновременно запускать на хосте несколько операционных систем, включая Windows, Linux, Mac.

Для управления резервными копиями в данной работе использовались встроенные в операционную систему Windows средства: Batch [2], PowerShell [3], Robocopy [4], и планировщик для запуска по расписанию. Для архивации копий использовался бесплатный компонент – архиватор 7zip. Принципиальная схема работы резервного копирования виртуальных машин представлена на рис. 1.

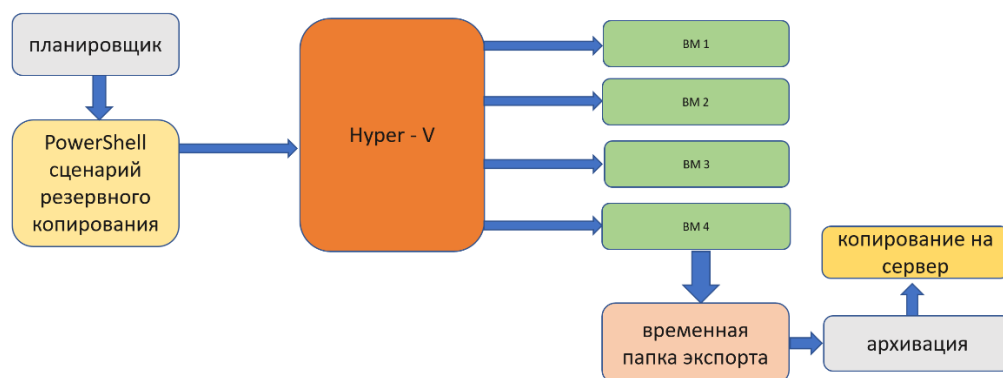


Рис. 1 – Принципиальная схема работы резервного копирования VM

Прежде чем приступить непосредственно к самой реализации системы, необходимо ее смоделировать, то есть построить абстрактную модель, позволяющую точно ответить на вопросы, которые будут возникать в процессе разработки [5-7].

На этапе проектирования копирования VM была выявлена основная роль:

– «PowerShell скрипт» направляет команды гипервизору, архиватору и утилите резервного копирования и получает от них обратную связь о состоянии выполнения;

– Резервное копирование идет по порядку в цикле.

Основные варианты использования:

– UC1.1. Передать команду на гипервизор, который запустит экспорт на первой в списке VM;

– UC1.1.1. Проверка на ошибку экспорта;

– UC1.2. Создать архив из экспортированной VM;

– UC1.2.1. Проверка ошибок при архивировании;

– UC1.2.2 Удаление экспортированной VM;

– UC1.3 Копирование архива VM;

– UC1.3.1. Проверка на ошибку при копировании архива на сервер;

– UC1.3.2. Удаление старых архивов с сервера;

Повторение цикла для других оставшихся VM в списке.

Диаграмма вариантов использования процесса резервного копирования виртуальных машин представлена на рис. 2.

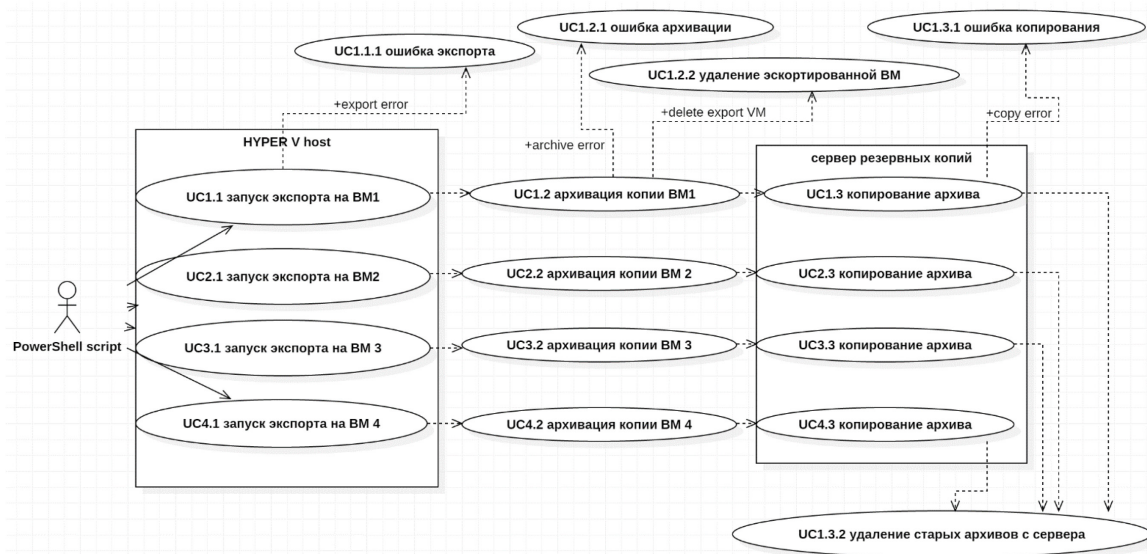


Рис. 2 – Диаграмма вариантов использования процесса резервного копирования виртуальных машин

В данной работе были разработаны спецификации вариантов использования для резервного копирования виртуальных машин, которые описаны в таблицах 1-3. Спецификации вариантов использования отражают требования, описанные в диаграмме вариантов использования в виде сценария. Сценарий использования описывает функциональность проектируемой системы с кратким описанием, действующим лицом и основным потоком.

Таблица 1 – Вариант использования «запустить экспорт VM»

ID и краткое название	UC1.1 запуск экспорта на VM1.
Краткое описание	Происходит запуск экспорта VM.
Актеры	PowerShell скрипт.
Основной поток:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Скрипт выполняет запрос через Hyper-V с именем VM.</li> <li>2. Hyper-V запускает процесс экспорта на указанной VM.</li> <li>3. Скрипт ожидает завершения процесса экспорта.</li> <li>4. По завершению процесса, проверяет успешность выполнения операции экспорта. При возникновении ошибки скрипт создаёт лог файл с информацией об ошибке, операция экспорта прерывается.</li> </ol>

Таблица 2 – Вариант использования «запустить архивирование VM»

ID и краткое название	UC1.2. архивация копии VM1.
Краткое описание	Запускается архивация VM.
Актеры	PowerShell скрипт.
Основной поток:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. После успешного экспорта, скрипт запускает процесс архивирования.</li> <li>2. После завершения архивирования скрипт получает ответ об успешности процесса.</li> <li>3. При возникновении ошибки скрипт создаёт лог файл с информацией об ошибке, операция экспорта прерывается.</li> </ol>

Таблица 3 – Вариант использования «Запустить копирование архива VM»

ID и краткое название	UC1.3. копирование VM1 на сервер с копиями.
Краткое описание	Запускается копирование архива на файловый сервер.
Актеры	PowerShell скрипт.
Основной поток:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. После успешного создания архива, скрипт запускает процесс копирования.</li> <li>2. После завершения копирования, скрипт получает ответ об успешности процесса. В успешном случае, происходит удаление старых архивов с сервера.</li> <li>3. При возникновении ошибки скрипт создаёт лог файл с информацией об ошибке, операция с копированием прерывается, архив остаётся на сервере Hyper-V.</li> </ol>

В результате проведенной работы по предложенной методике была спроектирована и реализована система резервного копирования виртуальных машин под управлением Hyper-V.

Возможность управления виртуальными машинами была реализована с помощью языка PowerShell. Данный язык программирования интегрирован в среду Windows, обладает высокой гибкостью в системе и обеспечивает взаимодействие с системными компонентами. Сценарий копирования архива на файловый сервер, был реализован через встроенную в Windows утилиту Robocopy. Утилита позволяет копировать в нескольких потоках, что позволяет увеличить скорость копирования. Скрипт будет запускаться планировщиком задач с файлового сервера, где будут храниться все архивы.

Созданное программное обеспечение позволило сделать процесс автономным и выполнять его по расписанию, сжимать и перемещать копии на файловое хранилище, контролировать и удалять старые копии, при этом в несколько раз уменьшив занимаемое пространство на диске для одной копии.

#### **Список литературы**

1. Работа с виртуальными машинами Hyper-V. URL: <https://datbase.ru/windows/rabota-s-virtualnyimi-mashinami-hyper-v.html> (дата обращения: 07.02.2022).
2. Пакетные BAT файлы. URL: <https://pc.ru/docs/windows/bat> (дата обращения: 07.02.2022).
3. Написание скриптов Windows Power Shell. URL: <https://webhamster.ru/mytetrashare/index/mtb0/14301259079ueohmojg0> (дата обращения: 07.02.2022).
4. Использование Robocopy для синхронизации и резервного копирования файлов. URL: <https://winitpro.ru/index.php/2020/05/13/robocopy-sinxronizaciya-i-rezervnoe-kopirovanie-fajlov/> (дата обращения: 07.02.2022).
5. Галиуллин Л.А., Зубков Е.В., Илюхин А.Н., Тазмеев А.Х., Хузятов Ш.Ш. Моделирование автоматизированной информационной системы на базе веб-технологий // Научно-технический вестник Поволжья. - 2020. - № 2. - С. 10-12
6. Галиуллин Л.А., Галиуллин И.А., Зубков Е.В., Илюхин А.Н., Тазмеев А.Х. Методика проектирования автоматизированной информационной системы на базе веб-технологий // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. - №4. - С. 128-131.
7. Валиев Р.А., Галиуллин Л.А., Зубков Е.В., Илюхин А.Н., Тазмеев А.Х. САПР пользовательского интерфейса на базе облачных технологий // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015611061, Российская Федерация; заявл. 02.12.2014; зарегистр. 23.01.2015; опубл. 20.02.2015, Бюл. №2(100)2015. – [1] с.

05.13.06

<sup>1,2</sup>А.Р. Фардеев канд. техн. наук, <sup>1</sup>Ф.Д. Байрамов д-р техн. наук,  
<sup>1</sup>Б.Ф. Байрамов канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Набережночелнинский институт (филиал)  
 ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
 кафедра механики и конструирования,  
<sup>2</sup>Набережночелнинский филиал ФГБОУ ВО  
 «Казанский национальный исследовательский технический университет  
 им. А.Н. Туполева-КАИ»,  
 кафедра информационных систем,  
 Набережные Челны, albert.fardeev@mail.ru, bbairamov@gmail.com, bbairamov@gmail.com

### ВЫВОД УРАВНЕНИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ И РАБОЧЕГО ОБЪЁМА НАСОСА ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА

*В данной статье проводится анализ работы ветронасосной установки в составе системы циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия при изменении скорости ветра. Используя зависимости момента, приложенного к ротору ветродвигателя со стороны внешних сил и момента, потребляемого насосом, от угловой скорости вращения ротора ветродвигателя, скорости ветра и давления насоса, получено уравнение, связывающее угловую скорость вращения ротора ветродвигателя с давлением насоса. Решая это уравнение с учетом зависимости полезной мощности насоса от его давления, получены формулы для рабочего объема насоса и его давления в зависимости от скорости ветра. Эти формулы будут необходимы при автоматизации работы ветронасосной установки.*

*Ключевые слова: ветронасосная установка, система циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости, машиностроительное предприятие, угловая скорость вращения ротора ветродвигателя, скорость ветра, автоматизация.*

Рассмотрим ветронасосную установку, включенную в состав системы циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия. С целью определения диапазона изменения рабочего объема регулируемого пластинчатого насоса и давления, которое он может создать, необходимо установить зависимости рабочего объема насоса и его давления от скорости ветра.

Момент, потребляемый насосом, определяется по формуле [1]

$$M_n = \frac{1}{\eta_n} \left( \frac{V_{он}}{2\pi} P_{нас} - \frac{AP_{нас}^2}{\mu\omega} \right),$$

где  $\eta_n$  – КПД насоса,  $V_{он}$  – рабочий объем насоса,  $P_{нас}$  – давление насоса,  $A$  – постоянная, зависящая от конструкции насоса,  $\mu$  – динамическая вязкость жидкости,  $\omega$  – угловая скорость вращения ротора ветродвигателя.

Обозначим

$$C_1 = \frac{V_{он}}{2\pi},$$

$$C_2 = \frac{A}{\mu}$$

Из этих выражений видно, что  $C_2$  - это постоянная величина, а  $C_1$  изменяется при изменении рабочего объема насоса  $V_{\text{он}}$ . Тогда

$$M_{\text{н}} = \frac{1}{\eta_{\text{н}}} \left( C_1 P_{\text{нас}} - C_2 \frac{P_{\text{нас}}^2}{\omega} \right). \quad (1)$$

Момент, приложенный к ротору ветродвигателя со стороны внешних сил, определяется по формуле [1]

$$M = \frac{0,5\rho S v^3 \xi}{\omega}. \quad (2)$$

Здесь  $\rho$  – плотность воздуха,  $S$  – ометаемая площадь ветродвигателя,  $v$  - скорость ветра,  $\xi$  – коэффициент использования энергии ветра.

Пусть ветродвигатель работает в режиме максимальной мощности, то есть выполняется условие

$$U_{\text{в}} = \frac{v}{3} [2],$$

где  $U_{\text{в}}$  – линейная скорость точки давления.

Линейная скорость  $U_{\text{в}}$  точки давления и угловая скорость вращения ротора ветродвигателя  $\omega$  связаны соотношением

$$U_{\text{в}} = \omega R_{\text{р}},$$

где  $R_{\text{р}}$  – расстояние от точки давления лопасти до оси вращения. Тогда

$$v = 3U_{\text{в}} = 3\omega R_{\text{р}}.$$

Подставив это выражение в формулу (2) получим:

$$M = 13,5\rho S R_{\text{р}}^3 \xi \omega^2.$$

Обозначим

$$C_3 = 13,5\rho S R_{\text{р}}^3 \xi.$$

Из этой формулы видно, что  $C_3$  - постоянная величина. Тогда

$$M = C_3 \omega^2. \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение движения ротора ветродвигателя вместе с ротором пластинчатого насоса имеет вид:

$$I \frac{d\omega}{dt} = M - M_{\text{н}}, \quad (4)$$

где  $I$  – момент инерции ротора ветродвигателя и ротора пластинчатого насоса как одного тела относительно оси вращения,  $M$  - момент, приложенный к ротору ветродвигателя со стороны внешних сил,  $M_{\text{н}}$  - момент, потребляемый насосом.

Пусть скорость ветра, а, следовательно, и угловая скорость вращения ротора ветродвигателя  $\omega$  постоянна, тогда  $\frac{d\omega}{dt} = 0$  и дифференциальное уравнение вращательного движения ротора ветродвигателя примет вид:

$$M - M_{\text{н}} = 0$$

Умножим обе части этого уравнения на  $\omega$ . Тогда

$$M\omega - M_{\text{н}}\omega = 0 \quad (5)$$

или

$$N - N_{\text{н}} = 0,$$

где  $N$  - мощность, вырабатываемая ветродвигателем,  $N_{\text{н}}$  - мощность, потребляемая насосом.

Подставим в уравнение (5) выражения (1) и (3):

$$C_3\omega^3 - \frac{1}{\eta_H} ( C_1P_{\text{нас}}\omega - C_2P_{\text{нас}}^2 ) = 0$$

или

$$C_3\omega^3 = \frac{1}{\eta_H} ( C_1\omega P_{\text{нас}} - C_2P_{\text{нас}}^2 ) \tag{6}$$

Будем помнить, что левая часть этого уравнения равна мощности ветродвигателя  $N$ , а правая часть – мощности  $N_H$ .

Отсутствие формулы аналитической зависимости  $\eta_H$  от  $P_{\text{нас}}$  не позволяет определить зависимость  $N_H$  от  $P_{\text{нас}}$  теоретически. Но есть графики зависимостей  $N_H$  от  $P_{\text{нас}}$ , полученные экспериментально [3]. Эти графики имеют вид показанный на рисунке.

Из этого рисунка видно, что формула зависимости  $N_H$  от  $P_{\text{нас}}$  имеет вид:

$$N_H = N_{\text{но}} + P_{\text{нас}}\beta,$$

где  $\beta$  - коэффициент пропорциональности. Заменяем правую часть уравнения (6) правой частью этого уравнения, т.к. в обоих случаях – это мощность, потребляемая насосом:

$$C_3\omega^3 = N_{\text{но}} + P_{\text{нас}}\beta. \tag{7}$$

Найдём решение этого уравнения:

$$P_{\text{нас}} = \frac{C_3\omega^3 - N_{\text{но}}}{\beta}. \tag{8}$$

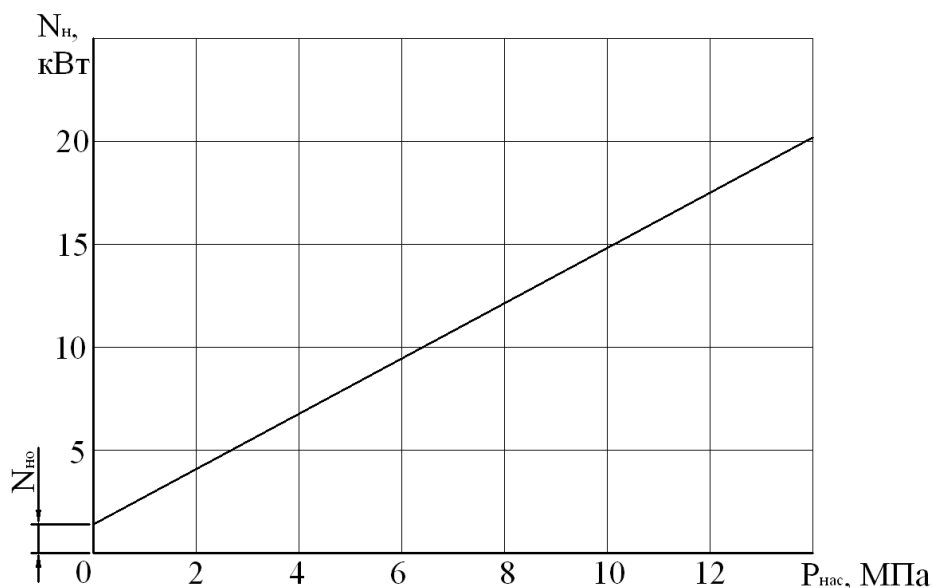


Рис. – Зависимость мощности  $N_H$ , потребляемой насосом, от давления насоса  $P_{\text{нас}}$

Подставив выражение для  $C_1$  в уравнение (6) определим рабочий объём насоса  $V_{\text{он}}$  при угловой скорости вращения ротора ветродвигателя равной  $\omega = \frac{v}{3R_p}$ :

$$V_{\text{он}} = 2\pi \left( \frac{C_3\omega^2\eta_H}{P_{\text{нас}}} + C_2 \frac{P_{\text{нас}}}{\omega} \right). \tag{9}$$

Если от угловой скорости вращения ротора ветродвигателя  $\omega$  (равной угловой скорости вращения ротора насоса  $\omega_H$ ) перейти к скорости ветра то уравнения (8) и (9) примут вид:

$$P_{\text{нас}} = \frac{C_3 v^3 - 27 N_{\text{но}} R_p^3}{27 R_p^3 \beta},$$

$$V_{\text{он}} = 2\pi \left( \frac{C_3 \eta_n v^2}{9 R_p^2 P_{\text{нас}}} + C_2 \frac{3 P_{\text{нас}} R_p}{v} \right).$$

Подставив выражения для  $C_2$  и  $C_3$  в эти формулы, получим:

$$P_{\text{нас}} = \frac{\rho S \xi v^3 - 2 N_{\text{но}}}{2\beta}, \quad (10)$$

$$V_{\text{он}} = 2\pi \left( \frac{3\rho S R_p \xi \eta_n v^2}{2 P_{\text{нас}}} + \frac{3 A P_{\text{нас}} R_p}{\mu v} \right). \quad (11)$$

Уравнения (10) и (11) устанавливают зависимости давления и рабочего объема насоса от скорости ветра.

Из зависимости (11) видно, что если скорость ветра,  $a$ , следовательно, и угловая скорость ротора ветродвигателя увеличилась в два раза, то рабочий объем насоса необходимо увеличить примерно в четыре раза. При этом ветродвигатель будет вырабатывать максимальную мощность.

Зависимости (10) и (11) будут необходимы при конструировании ветронасосной установки.

#### **Список литературы**

1. *Фардеев А.Р.* Вывод уравнения движения ротора ветродвигателя ветронасосной установки / А.Р. Фардеев, И.П. Талипова, Е.П. Барыльникова // Научно-технический вестник Поволжья – 2022. – №1. – С. 64-67.
2. *Фардеев А.Р.* Технологические процессы с комбинированным энергопитанием: механика, управление, автоматизация. Монография / Фардеев А.Р., Байрамов Ф. Д., Байрамов Б. Ф., Галимов Н.С // Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2016. -342 с.
3. *Башта Т.М.* Гидравлика, гидромашин и гидропривод / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов // М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.



**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (05.13.18)**

05.13.18

**А.В. Болдырев канд. техн. наук, С.В. Болдырев канд. техн. наук,  
Д.Л. Карелин канд. техн. наук**

Набережночелнинский институт (филиал)  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
отделение информационных технологий и энергетических систем,  
кафедра «Высокоэнергетические процессы и агрегаты»,  
Набережные Челны, alexeyboldyrev@mail.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ  
В ВИХРЕВОМ НАСОСЕ ОТКРЫТОГО ТИПА  
ПРИ РАЗЛИЧНОМ УГЛЕ НАКЛОНА ВЫХОДНОГО КАНАЛА**

*В статье выполнено численное моделирование установившегося турбулентного течения несжимаемой жидкости в вихревом насосе открытого типа с открытым боковым каналом. Используются уравнения Навье-Стокса и неразрывности, осредненные по Рейнольдсу, и уравнения двухслойной Realizable  $k-\epsilon$  модели турбулентности, учитывающей кривизну линий тока. Для приближенного решения уравнений применен метод конечных объемов, аппроксимация производных 2-го порядка, итерационный метод. Сеточная независимость решения оценена по значениям напора и КПД при оптимальной подаче насоса, в расчетах использована сетка, содержащая около 3.22 млн. многогранных ячеек. Исследовано влияние угла наклона выходного канала на структуру течения, напор и коэффициент полезного действия вихревого насоса (7 вариантов).*

Ключевые слова: *математическая модель; численное моделирование; установившееся турбулентное течение; вихревой насос открытого типа с открытым боковым каналом; характеристики.*

**Введение.** Вихревые насосы обеспечивают значительный напор при относительно низкой подаче жидкости или газожидкостной смеси, что обуславливает их применение для перекачивания агрессивных жидкостей в химической промышленности, легколетучих жидкостей на аэродромных и автомобильных станциях, а также в качестве вакуум-насосов и т.п. Однако их использование при больших мощностях ограничивается низким гидравлическим коэффициентом полезного действия [1].

Вместе с тем, существуют возможности улучшения производительности, энергоэффективности, надежности, шумовых и вибрационных характеристик данных насосов на основе результатов экспериментальных и численных исследований влияния зазоров между корпусом и колесом [2], диаметра колеса, ширины и углов установки лопастей [3, 4], радиусов скругления и изменения толщины лопасти по высоте [4], количества лопастей [5], ширины безлопаточной полости [6], формы и размеров окон всасывания и нагнетания, угла перемычки, формы и размеров поперечного сечения бокового канала [7, 8], профиля лопасти [8-10], угла перемычки в боковом канале между патрубками [11] и т.п., а также некоторых физических условий работы [12-16] на структуру течения, напор, гидравлический КПД, пульсации давления и скорости.

В частности, настоящая статья посвящена оценке влияния угла наклона выходного канала на характеристики вихревого насоса открытого типа с открытым боковым каналом.

**Методы.** На первом этапе исследований [17] выполнена верификация математической модели установившегося турбулентного течения жидкости в проточной полости вихревого насоса открытого типа с открытым боковым каналом (рис. 1) по известным экспериментальным характеристикам. В модели [17] использованы уравнения Навье-Стокса и неразрывности, осредненные по Рейнольдсу, и уравнений Realizable k-ε модели турбулентности с использованием двухслойного подхода Роды, модели Вольфштейна и модифицированных пристеночных функций Рейхардта, позволяющих учесть вращение и кривизну линий тока. Во вращающейся области «лопастное колесо» учтено воздействие на поток центробежных и кориолисовых сил инерции. На входной границе задавался массовый расход воды, на выходной границе – нулевое избыточное давление, на неподвижных стенках – условие «непроскальзывания» и «непроницаемости» (равенство нулю всех проекций скорости).

В результате расчета для каждого значения подачи из рабочего диапазона 4.6...12.3 м<sup>3</sup>/ч определялись: напор (по разности полных давлений на выходе и входе насоса), крутящий момент, действующий на лопасти колеса, потребляемая мощность и гидравлический КПД насоса.

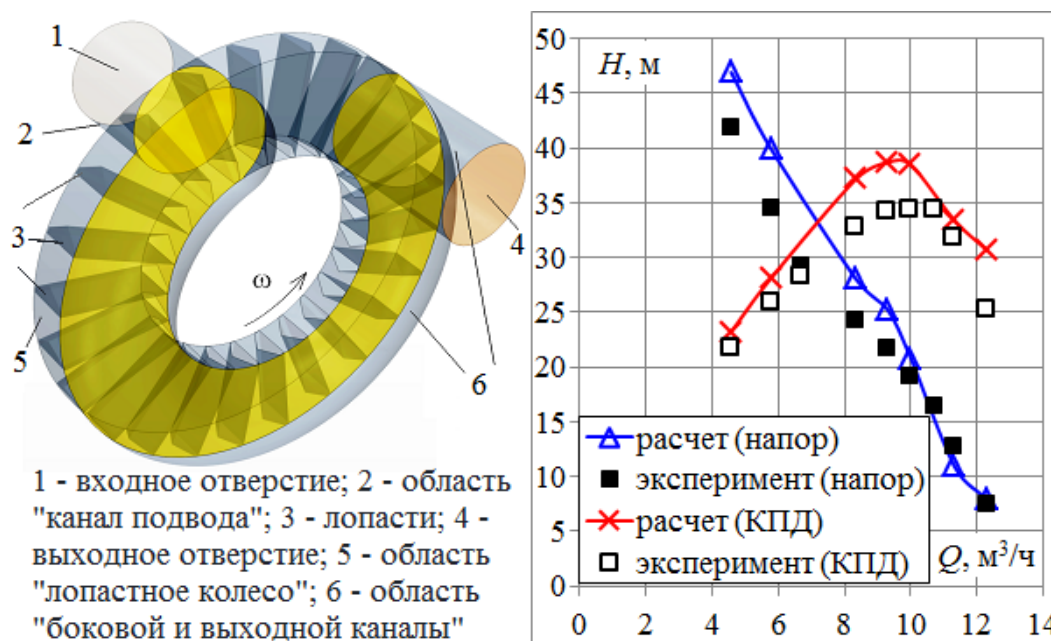


Рис. 1 – Постановка задачи (расчетные области, граничные условия) и зависимости напора и КПД вихревого насоса от подачи

Дискретизация расчетных областей осуществлена с помощью сеток на основе многогранных ячеек со сгущением на интерфейсных поверхностях, лопастях рабочего колеса, а также в пристеночных зонах течения для корректного использования гибридных пристеночных функций. В ходе предварительной оценки сеточной независимости решения по значениям напора и КПД при оптимальной подаче 10 м<sup>3</sup>/ч для дальнейших расчетов окончательно выбрана сетка, содержащая около 3.22 млн. ячеек.

Сравнение расчетных характеристик вихревого насоса с экспериментальными данными [11] показало их хорошее качественное и удовлетворительное количественное соответствие (рис. 1). Средняя погрешность расчета напора составила 10.8%, а гидравлического КПД – 14.5%. Наибольшие отклонения отмечены в диапазоне подач от минимальной рабочей (4.6 м<sup>3</sup>/ч) до оптимальной (10 м<sup>3</sup>/ч).

Затем на основе верифицированной математической модели течения исследовано влияние угла наклона выходного канала на напор и коэффициент полезного действия вихревого насоса при оптимальной подаче 10 м<sup>3</sup>/ч (7 вариантов). Погрешность расчета напора для исходной конструкции лопастного колеса на этом режиме работы насоса составила 2.5%, а гидравлического КПД – 9.3%.

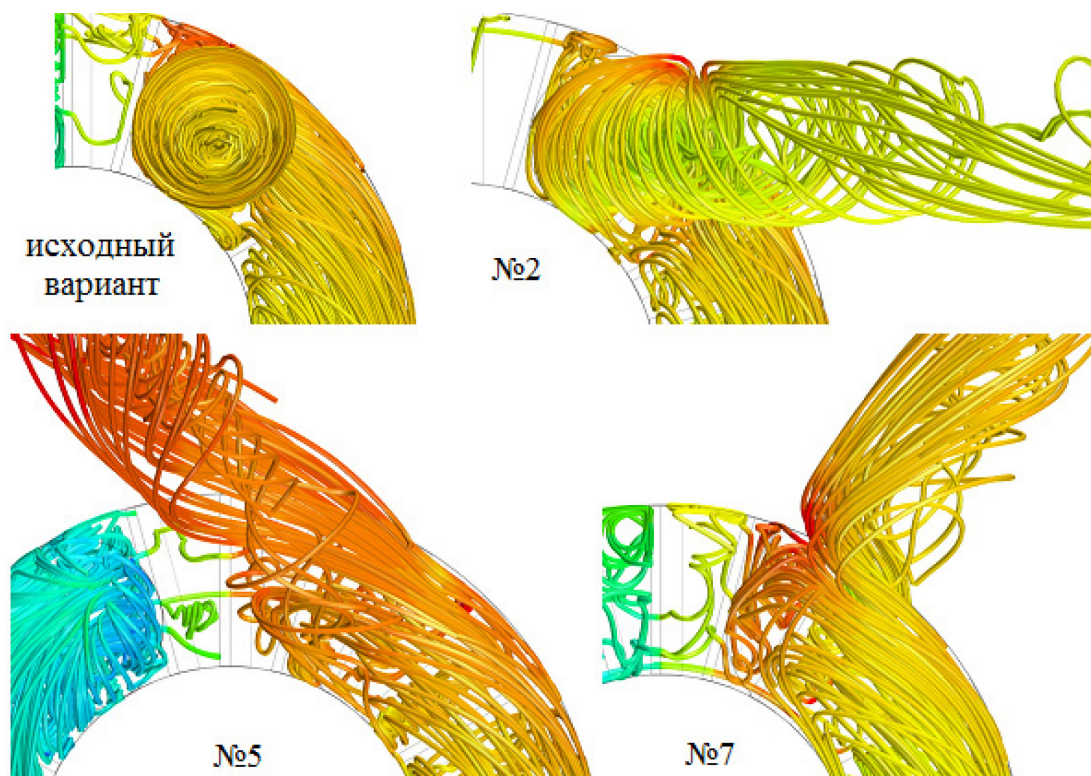


Рис. 2 – Линии тока, полученные в результате расчета параметров течения при различном наклоне выходного канала вихревого насоса

**Результаты и обсуждение.** Как видно из рисунка 2, соответствующего исходному варианту конструкции, жидкость в выходном канале фактически совершает интенсивное винтовое движение. Значительная закрутка наблюдается и в выходном канале 2-го исполнения, особенно на начальном участке, где поток совершает разворот на угол более  $90^\circ$ . Течение в выходном канале 7-го исполнения представлено как бы двумя потоками, движущимися по винтовым траекториям: центрального с малым шагом (интенсивное вращение) и периферийного с большим шагом (поток в основном движется поступательно). Аналогичная структура течения замечена в выходном канале 5-го исполнения, однако в этом случае «раскрученный» поток занимает уже большую часть внутреннего объема канала, смещая осевой вихрь к стенке.

Закономерно, что максимальные потери энергии отмечены для вариантов №2, №7, №4 (рис. 3), реализация которых приводит к большим углам разворота потока ( $90^\circ$  и более) на выходе из корпуса насоса.

Обнаружено увеличение гидравлического КПД вихревого насоса для вариантов, когда угол между осью выходного канала и касательной к окружному направлению движения жидкости в корпусе является минимальным (лучший вариант – №5).

Причем сравнение результатов моделирования для случаев №3 и №6 (рис. 3) показало, что отклонение выходного канала в направлении к оси вращения колеса насоса сопровождается меньшими потерями энергии, чем при отклонении канала в периферийном по отношению к колесу направлении. Аналогичный вывод сделан при сопоставлении расчетных значений гидравлического КПД для вариантов №4 и №7.

Обнаружено, что почти во всех рассмотренных случаях (кроме варианта №2) происходит повышение расчетного значения напора вихревого насоса по отношению к исходному варианту. Причем минимальный рост напора соответствует случаю №4 (большой угол разворота потока на выходе из корпуса в канал), а максимальный – вариантам №5 и №6.

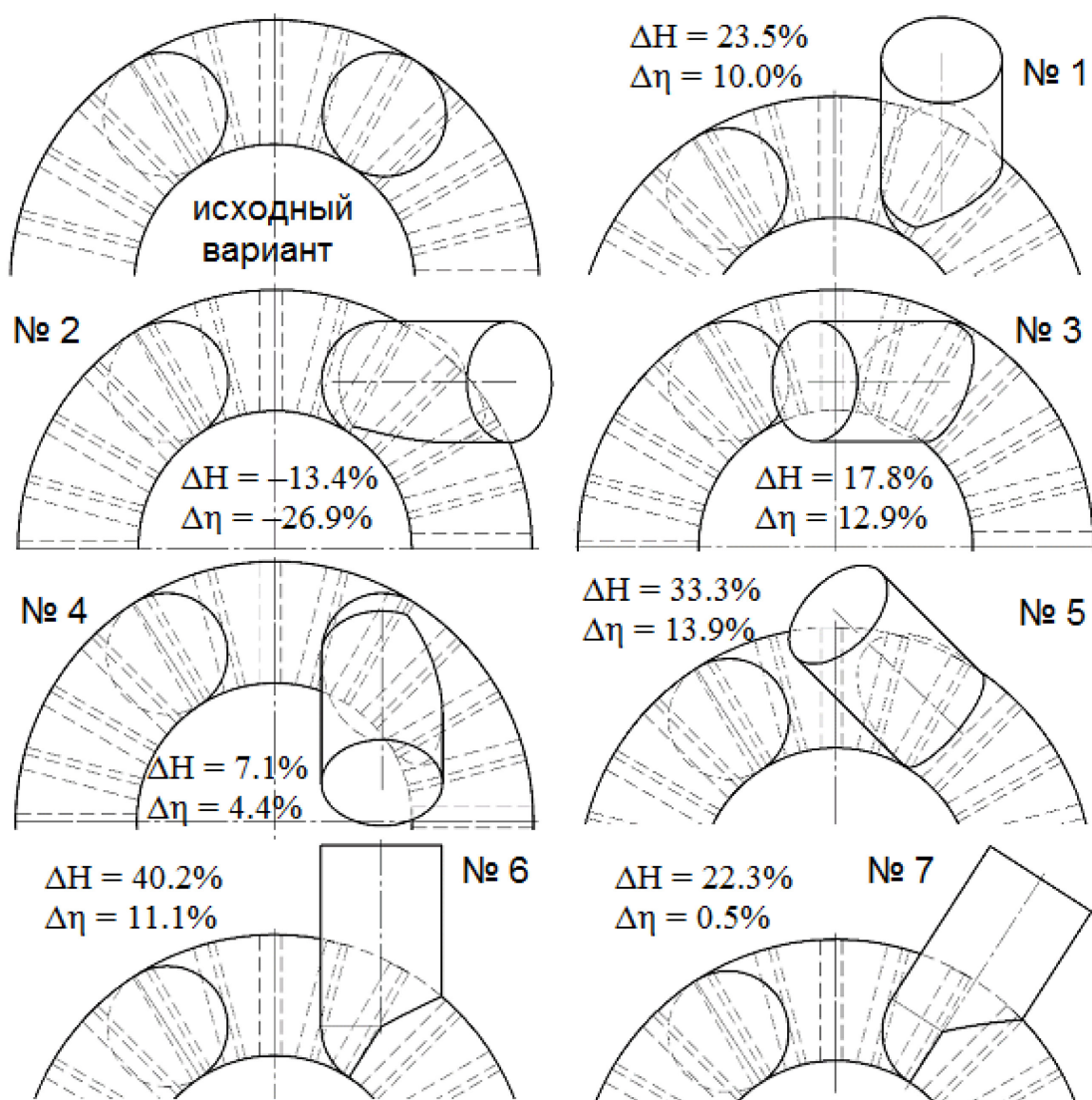


Рис. 3 – Относительные изменения напора  $\Delta H$  и гидравлического КПД  $\Delta \eta$  при различном угле наклона выходного канала вихревого насоса по отношению к напору и КПД при исходной конструкции (подача  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ )

**Заключение.** Таким образом, в ходе моделирования течения жидкости выявлено существенное влияние угла наклона выходного канала на структуру течения и характеристики вихревого насоса открытого типа с открытым боковым каналом, отмечены предпочтительные варианты исполнения выходного канала. Однако для оптимизации данного элемента конструкции рассматриваемых насосов требуются дополнительные расчеты, чтобы уточнить значение оптимального угла наклона выходного канала, а также оценить относительное изменение напора и гидравлического КПД уже во всем диапазоне рабочих подач.

**Список литературы**

1. Байбаков О.В. Вихревые гидравлические машины. М.: Машиностроение, 1981. 197 с.
2. Каплунов А.Н. Повышение КПД вихревого насоса // Техника и технологии: пути инновационного развития: матер. 3-й междунар. науч.-практ. конф. (Курск, 29 июня 2013 г.). Курск: ЗАО «Университетская книга», 2013. С. 67-72.
3. Gao X., Shi W., Zhao R., Zhao T., Wang H. Optimization Design and Internal Flow Field Study of Open-Design Vortex Pump // Shock and Vibration. 2021. Vol. 2021. Article number 6673200.
4. Quan H., Wu Y., Guo Y., Song K., Li Y. Multiobjective hydraulic design and performance analysis of a vortex pump based on orthogonal test // Shock and Vibration. 2021. Vol. 2021. Article number 6687856.
5. Svoboda D.G., Zharkovskii A.A., Ivanov E.A. Influence of the geometric parameters of the impeller of a free-vortex pump on the energy and cavitation characteristics of the pump // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. Vol. 54. Iss. 9-10. Pp. 673-680.
6. Ye D., Li H., Ma Q., Han Q., Sun X. Numerical Investigation of Performance Improvement and Erosion Characteristics of Vortex Pump Using Particle Model // Shock and Vibration. 2020. Vol. 2020. Article number 5103261.
7. Mosshammer M., Benigni H., Jaberg H., Konrad J. Maximum Efficiency Despite Lowest Specific Speed-Simulation and Optimisation of a Side Channel Pump // International Journal of Turbomachinery, Propulsion and Power. 2019. Vol. 4. Iss. 2. Article number ijtp4020006.
8. Appiah D., Zhang F., Yuan S., Osman M.K. Effects of the geometrical conditions on the performance of a side channel pump: A review // International Journal of Energy Research. 2018. Vol. 42. Iss. 2. Pp. 416-428.
9. Zhang F., Fleder A., Böhle M., Yuan S. Effect of suction side blade profile on the performance of a side channel pump // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. 2016. Vol. 230. Iss. 6. Pp. 586-597.
10. Zhang F., Appiah D., Zhang J., Yuan S., Osman M.K., Chen K. Transient flow characterization in energy conversion of a side channel pump under different blade suction angles // Energy. 2018. Vol. 161. Pp. 635-648.
11. Zhang F., Chen K., Appiah D., Hu B., Yuan S., Asomani S.N. Numerical delineation of 3D unsteady flow fields in side channel pumps for engineering processes // Energies. 2019. Vol. 12. No. 12. Article number 1287.
12. Zhang F., Böhle M., Pei J., Yuan S., Fleder A. Status and development trend of study on side channel pumps // Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering. 2015. Vol. 33. Iss. 9. Pp. 737-743.
13. Zhang F., Böhle M., Pei J., Yuan S., Fleder A. Numerical simulation and verification on flow characteristics of impeller axial and radial gaps in side channel pump // Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2015. Vol. 31. Iss. 10. Pp. 78-83.
14. Fleder A., Muller T., Böhle M. A theoretical method to improve the side channel pump efficiency // 9th European Conference on Turbomachinery: Fluid Dynamics and Thermodynamics, ETC 2011 - Conference Proceedings. 2011. Vol. 1. Pp. 711-720.
15. Zhang F., Böhle M., Yuan S. Experimental investigation on the performance of a side channel pump under gas-liquid two-phase flow operating condition // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. 2017. Vol. 231. Iss. 7. Pp. 645-653.
16. Fleder S., Hassert F., Böhle M., Zientek-Strietz B. Influence of gas-liquid multiphase-flow on acoustic behavior and performance of side channel pumps // American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication) FEDSM. 2017. Vol. 1A-2017. Paper No. FEDSM2017-69094, V01AT05A006.
17. Болдырев А.В., Болдырев С.В., Карелин Д.Л. Влияние профиля лопасти на характеристики вихревого насоса открытого типа с открытым боковым каналом // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2020. Т. 6. № 3 (23). С. 23-37.

05.13.18

**Е.В. Гусев**

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)»,  
Кафедра 610 «Управление эксплуатацией ракетно-космических систем»,  
Москва, ccg-gus@mail.ru

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ ЛА**

*В работе рассмотрены вопросы, связанные с особенностями технического обслуживания и определения оптимальной длительности и периодичности проведения технического обслуживания в зависимости от известных показателей надежности, характеристик системы технического обслуживания и требуемому времени безотказной работы. Разработан алгоритм, воспроизводящий процесс эксплуатации систем ЛА в течение длительного времени*

*Ключевые слова: время восстановления, коэффициент готовности, работоспособное состояние, сложная техническая систем, техническое обслуживание.*

Основным вопросом организации технического обслуживания (ТО) является обоснование оптимальной периодичности и длительности проведения ТО. При решении этого вопроса возникают следующие противоречивые требования. С одной стороны, необходимо обеспечить эксплуатационную надежность за счет проведения ТО, что требует значительных затрат времени. С другой стороны, с точки зрения готовности и непосредственного использования агрегатов и систем ЛА невыгодно, чтобы они простаивали на ТО [1, 2]

Учесть указанные выше требования можно с помощью показателя, который учитывает эффективность использования агрегатов. Так как эффективность использования  $P_{Э}$  учитывает оба требования к аппаратуре: по надежности и по степени использования, то этот показатель можно использовать при обосновании периодичности и длительности проведения ТО. В процессе проведения ТО предотвращается часть отказов за счет выявления и устранения неисправностей постепенного характера. Эффективность ТО можно оценить с помощью соотношения [3, 4]:

$$W = \frac{T_{0\text{пф}}}{T_0} \quad (1)$$

где  $T_{0\text{пф}}$  и  $T_0$  наработка на отказ обслуживаемой аппаратуры и необслуживаемой. Эффективность ТО зависит от периодичности и длительности проведения обслуживания. Оценим влияние периодичности и длительности на эффективность ТО. При оценке периодичности и длительности проведения ТО использованы следующие допущения: 1) эксплуатация систем не рассматривается как единое целое, а расчленяется на два процесса: процесс накопления неисправностей и процесс их выявления; 2) распределение случайных величин принимается экспоненциальным [5, 6].

Постановку задачи можно сформулировать следующим образом. Имеются системы длительного действия, для которых известна наработка на отказ  $T_0$ , и коэффициент характера отказов  $A(t)$ . Необходимо организовать на системах летательного аппарата (ЛА) техническое обслуживание (выбрать оптимальную периодичность и длительность), чтобы обеспечить максимальную эффективность использования  $P_{Э\text{и макс}}$ .

Для решения задачи разработан алгоритм, воспроизводящий процесс эксплуатации систем ЛА в течение длительного времени  $T$ . Функционирование складывается из последовательно повторяющихся циклов: работа – техническое обслуживание. Продолжительность каждого

цикла определяется периодичностью  $T_{ПР}$  и длительностью  $T_{П}$  проведения технического обслуживания. В рабочем цикле возможно появление отказов, которые приводят к дополнительному простоя.

Алгоритм позволяет для фиксированных значений  $T_{ПР}$  и  $T_{П}$  оценить эффективность использования систем ЛА. Перебрав несколько значений  $T_{ПР}$  и  $T_{П}$ , можно выбрать такие периодичность и длительность, которые обеспечивают наибольшую эффективность использования. Основным в алгоритме является расчет вероятности выявления неисправностей  $P_{пв}(T_{п})$  и вероятности появления постепенных отказов  $P_{пп}(T_{пр})$ , устанавливающих зависимость между наработкой на отказ обслуживаемых и необслуживаемых систем. Вероятность появления постепенных отказов  $P_{пп}(T_{пр})$  вычисляется с учетом эффекта замен, в предположении, что процесс эксплуатации установился (при достаточно большом  $T_{э}$ ). При этом интенсивность постепенных отказов  $\lambda_{ср}$  является постоянной величиной и может быть определена по формуле:

$$\lambda_{ср} = \lambda - \lambda_{в} \tag{2}$$

где  $\lambda = \frac{1}{T_0}$  – интенсивность отказов необслуживаемых систем;  $\lambda_{в}$  – интенсивность отказов обслуживаемых систем

$$\lambda_{в} = \frac{1}{T_{0max}} \tag{3}$$

$$\text{где } T_{0max} = \frac{T_0}{1-A(t)} \tag{4}$$

Блок-схема моделирующего алгоритма для оценки эффективности использования систем ЛА при различных значениях  $T_{ПР}$  и  $T_{П}$  представлена на рис. 1. В блок-схеме приняты следующие обозначения:  $t_{нп}$  и  $t_{кп}$  – момент начала и окончания проведения технического обслуживания соответственно;  $\min t_{п}$  – ближайший момент изменения состояния системы;  $T_{в}$  и  $\sigma_{в}$  – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение времени восстановления;  $\sum r$  – счетчик количества циклов работы между ТО, в которых были отказы;  $\sum \tau_{пр}$  – счетчик суммарного простоя систем на ТО и восстановлении;  $\sum t$  – количество ТО за время  $T$ ;  $\alpha$  – рабочая ячейка. В данном алгоритме реализуется нормальный закон распределения длительности технического обслуживания [7, 8]. В общем случае может быть реализован любой закон распределения. Для начала моделирования необходимо подготовить исходные данные:

- определение  $T_{0max}$  по формуле (4);
- определение  $\lambda_{ср}$  по формуле (2);
- вычисление вероятности появления постепенных отказов по формуле:

$$P_{пп}(T_{пр}) = 1 - \exp(-\lambda_{ср} T_{пр}) \tag{5}$$

- определение наработки на отказ обслуживаемой аппаратуры по формуле

$$T_{0пф} = \frac{T_0}{1-A(t)[1-P_{пп}(T_{пр})]P_{пв}(T_{п})} \tag{6}$$

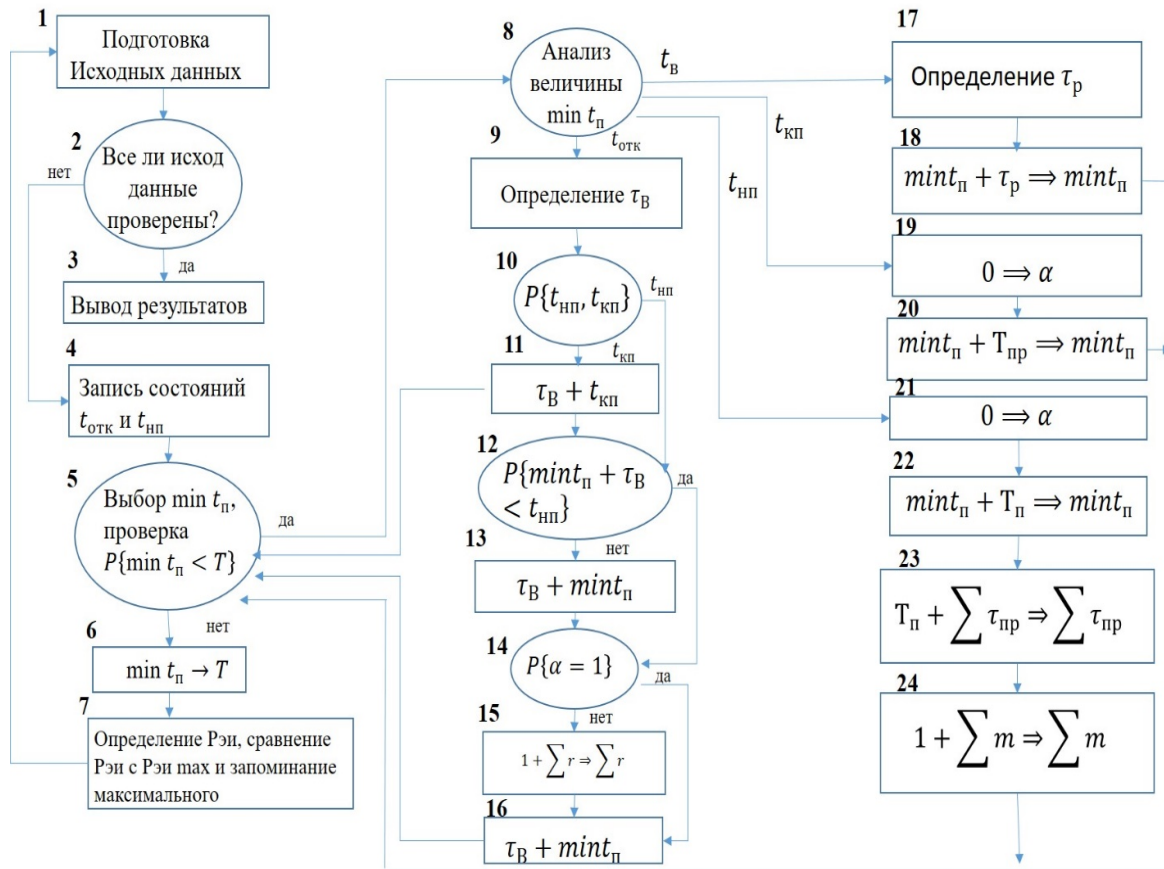


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма для определения периодичности и длительности технического обслуживания

Работоспособность разработанного алгоритма проверена на расчетном примере. Исходные данные [9]: 1) наработка на отказ  $T_0=50$  часов; 2) коэффициент характера отказов  $A(t)=0.9$ ; 3) математическое ожидание времени проведения обслуживания  $M[\tau_{п}] = 5$  час и среднеквадратическое отклонение  $\sigma[\tau_{п}] = 1,5$  час; 4) математическое ожидание времени восстановления  $T_в=6$  час и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_в = 2$  час.

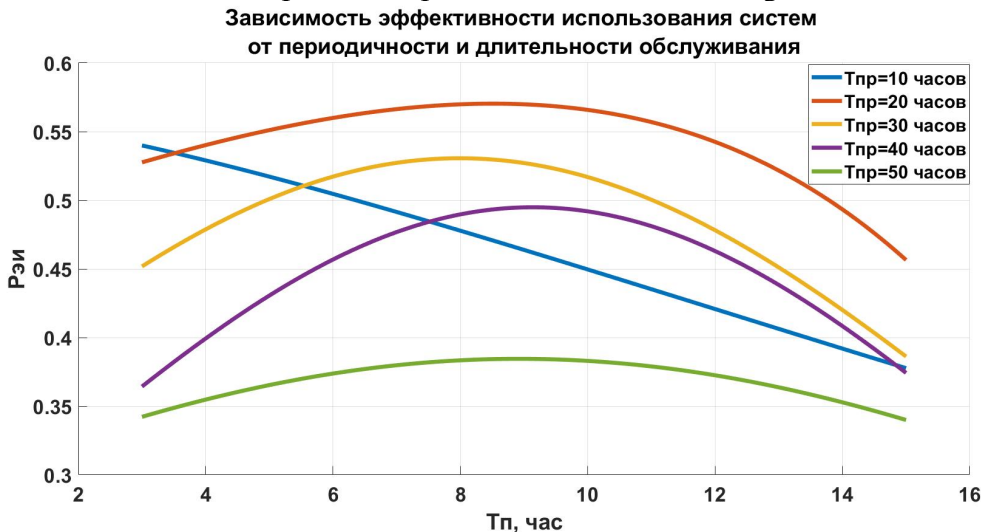


Рис. 2 – Графики зависимости эффективности использования систем ЛА от периодичности и длительности обслуживания

Расчет произведен на интервале моделирования  $T=16 \cdot 10^3$  час, значения периодичности  $T_{пр} = 10 (20, 30, 40, 50)$  час и длительности  $T_{п} = 3 (5, 8, 11, 15)$  час.



**Заключение.** В результате расчета получены зависимости (рис. 2) эффективности использования систем ЛА  $P_{ЭИ}$  от длительности обслуживания  $T_{П}$  при различных периодичностях  $T_{ПР}$ . Анализ кривых рис.2 показывает, что наибольшая эффективность использования  $P_{ЭИ\text{MAX}}=0.57$  обеспечивается при  $T_{ПР}=20$  час и  $T_{П}=9$  час. Указанные значения  $T_{ПР}$  и  $T_{П}$  и являются оптимальными значениями периодичности и длительности обслуживания. При этом обеспечивается наибольшая эффективность использования систем ЛА.

#### Список литературы

1. Емелин Н.М. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов. Москва: Машиностроение, 1995, 128 с.
2. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2006, 702 с.
3. Сугак Е.В., Василенко Н.В. Надежность технических систем. Красноярск: МГП Раско, 2001, 42 с.
4. Шишонок Н.А., Ластовченко Л.Л. Обоснование периодичности проведения профилактических мероприятий, Москва: Советское радио, 1963, 150 с.
5. Fitch E.S. Proactive maintenance for machanical system. Amsterdam: Elsevier Science, 2013. 339 pp.
6. Никушкин Н.В., Кацура А.В. Решение задачи моделирования систем технического обслуживания летательных аппаратов // Вестник СибГАУ, №. 4(11), 2006. с. 46-49
7. Гусев Е. В., Родченко В. В. Разработка модели выявления неисправностей в процессе проведения технического обслуживания систем летательных аппаратов // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 4. С. 638–648. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-4-638-648
8. Золотов А.А, Родченко В.В., Гусев Е.В «Прогнозирование показателей технического обслуживания сложных технических систем в процессе хранения» // Полет, Vol. 8, август 2021. с. 37-44.
9. Гусев Е.В. «Разработка программного комплекса для прогнозирования параметров технического обслуживания сложных систем» //Перспективы науки №7 (142) 2021. с. 26-33.

05.13.18

**Е.В. Спиридонова, Н.А. Гамова, Н.В. Кулиш, Л.А. Суяргулова**

Оренбургский государственный университет,  
факультет математики и информационных технологий,  
кафедра прикладной математики,  
Оренбург, ekvls@mail.ru

### **КЛАССИФИКАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ РАЗРЫВНЫХ СМЕЩЕНИЙ ПЛОСКИХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ТРЕЩИН**

*В настоящей статье приведена классификация и анализ подобия распределений разрывов смещений берегов раскрывающихся трещин, выполненный на основе компьютерного моделирования методом разрывных смещений.*

Ключевые слова: *трещина на плоскости, смешанные краевые условия, метод разрывных смещений.*

В настоящее время для решения смешанных краевых задач теории трещин используют метод разрывных смещений (МРС) [1,2]. В основе метода лежит дискретная аппроксимация задачи о непрерывно распределенном разрыве смещений вдоль конечного разреза плоскости. Граничные интегральные уравнения данного метода описаны в [3] и при переходе к конечным суммам образует систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Решение СЛАУ позволяет найти разрывы смещений, которые обеспечивают заданные граничные условия.

В статье приведена классификация и результаты компьютерного моделирования плоских задач теории трещин. Решение задач осуществляют в смешанных краевых условиях. Поэтому для  $i$ -го граничного элемента имеем ( $i = \overline{1, J}$ )

$$u_s^i = u_s^0, u_n^i = u_n^0, \sigma_s^i = \sigma_s^0, \sigma_n^i = \sigma_n^0.$$

СЛАУ записывают в виде

$$\begin{aligned} u_s^i &= \sum_{j=1}^J B_{ss}^{ij} D_s^j + \sum_{j=1}^J B_{sn}^{ij} D_n^j, \sigma_s^i = \sum_{j=1}^J A_{ss}^{ij} D_s^j + \sum_{j=1}^J A_{sn}^{ij} D_n^j, \\ u_n^i &= \sum_{j=1}^J B_{ns}^{ij} D_s^j + \sum_{j=1}^J B_{nn}^{ij} D_n^j, \sigma_n^i = \sum_{j=1}^J A_{ns}^{ij} D_s^j + \sum_{j=1}^J A_{nn}^{ij} D_n^j. \end{aligned}$$

Здесь  $D_n^j, D_s^j$  – компоненты разрывов смещений  $j$ -го отрезка трещины в нормальном и касательном направлениях соответственно;  $u_n^j, u_s^j$  – нормальные и касательные смещения;  $\sigma_n^j, \sigma_s^j$  – нормальные и касательные напряжения;  $B_{ss}^{ij}, B_{sn}^{ij}, B_{ns}^{ij}, B_{nn}^{ij}, A_{ss}^{ij}, A_{sn}^{ij}, A_{ns}^{ij}, A_{nn}^{ij}$  – граничные коэффициенты влияния.

На Рис.1 приведена графическая иллюстрация постановки задачи.

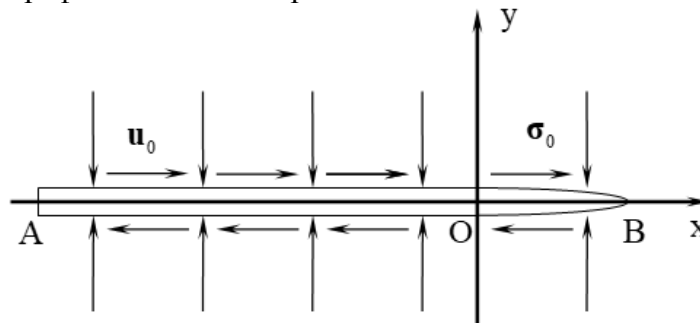


Рис.1 – Геометрическая модель трещины смешанного типа

Учитывая все перестановки СЛАУ, получим 48 подкомбинаций граничных условий, которые представлены в таблице 1.

Одним из авторов статьи был создан и зарегистрирован программный комплекс, который позволяет вычислять раскрытия берегов трещины, с заданными на ней граничными условиями [4].

При численном решении задач на экране монитора вводились следующие входные данные:  $L_0 = 0,01\text{м}$  – длина зияющей части трещины,  $x \in [0, L_0]$ ;  $10L_0$  – длина основной части разреза,  $x \in [-b, 0]$ ;  $u_0 = -1,2$  мкм – смещение берегов;  $\sigma_0 = -98$  кН/м<sup>2</sup> – напряжение на берегах; модуль Юнга  $E = 3 \cdot 10^{10}$  Па, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ; количество граничных элементов на ОА равно 30, а на ОВ – 750. Выполнен анализ тождественности раскрытий берегов трещины.

Таблица 1 – Комбинаций ненулевых граничных условий

Номер комбинации	Ненулевые компоненты	Части трещины по подкомбинациям		
		вариант	Основная часть	Зияющая часть
1	2	3	4	5
1	$u_n^0$	а	$u_n^0$	
		б		$u_n^0$
		в	$u_n^0$	
2	$\sigma_n^0$	а	$\sigma_n^0$	
		б		$\sigma_n^0$
		в	$\sigma_n^0$	
3	$u_n^0, \sigma_n^0$	а	$u_n^0$	$\sigma_n^0$
		б	$\sigma_n^0$	$u_n^0$
4	$u_s^0$	а	$u_s^0$	
		б		$u_s^0$
		в	$u_s^0$	
5	$\sigma_s^0$	а	$\sigma_s^0$	
		б		$\sigma_s^0$
		в	$\sigma_s^0$	
6	$u_s^0, \sigma_s^0$	а	$u_s^0$	$\sigma_s^0$
		б	$\sigma_s^0$	$u_s^0$
7	$u_n^0, u_s^0$	а	$u_n^0$	$u_s^0$
		б	$u_s^0$	$u_n^0$
		в	$u_n^0, u_s^0$	$u_n^0$
		г		$u_s^0$
		д		
		е	$u_n^0$	$u_n^0, u_s^0$
		ж	$u_s^0$	
		з		
и	$u_n^0, u_s^0$			
8	$\sigma_n^0, \sigma_s^0$	а	$\sigma_n^0$	$\sigma_s^0$
		б	$\sigma_s^0$	$\sigma_n^0$
		в	$\sigma_n^0, \sigma_s^0$	$\sigma_n^0$
		г		$\sigma_s^0$
		д		
		е	$\sigma_n^0$	$\sigma_n^0, \sigma_s^0$
		ж	$\sigma_s^0$	
		з		
и	$\sigma_n^0, \sigma_s^0$			
9	$u_n^0, \sigma_s^0$	а	$u_n^0$	$\sigma_s^0$
		б	$\sigma_s^0$	$u_n^0$

10	$u_s^0, \sigma_n^0$	a	$u_s^0,$	$\sigma_n^0$
		$\bar{b}$	$\sigma_n^0$	$u_s^0,$
11	$u_n^0, \sigma_n^0, \sigma_s^0$	a	$u_n^0$	$\sigma_n^0, \sigma_s^0$
		$\bar{b}$	$\sigma_n^0, \sigma_s^0$	$u_n^0$
12	$u_s^0, \sigma_n^0, \sigma_s^0$	a	$u_s^0$	$\sigma_n^0, \sigma_s^0$
		$\bar{b}$	$\sigma_n^0, \sigma_s^0$	$u_s^0$
13	$u_n^0, u_s^0, \sigma_n^0$	a	$\sigma_n^0$	$u_n^0, u_s^0$
		$\bar{b}$	$u_n^0, u_s^0$	$\sigma_n^0$
14	$u_n^0, u_s^0, \sigma_s^0$	a	$\sigma_s^0$	$u_n^0, u_s^0$
		$\bar{b}$	$u_n^0, u_s^0$	$\sigma_s^0$
15	$u_n^0, u_s^0, \sigma_n^0, \sigma_s^0$	a	$u_n^0, u_s^0$	$\sigma_n^0, \sigma_s^0$
		$\bar{b}$	$\sigma_n^0, \sigma_s^0$	$u_n^0, u_s^0$

Ограничение решений определялось по формуле

$$\delta_p(x) = \left| \frac{D_{p_1}(x) \pm D_{p_2}(x)}{D_p(x)} \right| \cdot 100\%, \quad p_1, p_2 = \{n, s\},$$

которая удовлетворяет условию

$$\max(\delta_p) \leq r.$$

Если максимальное значение  $\delta_p$  находится в окрестности нуля, то происходит полное совпадение раскрытий.

В таблице 2 приведены результаты анализа тождественности раскрытий краев разреза для указанных в таблице 1 вариантов, при  $r$  близком к нулю ( $r = 0,001\%$ ). Комбинации, которые не приведены в таблице, не имеют подобия.

Знак «+» и «-» определяют выбор такого же знака в числителе дроби  $\delta_p(x)$ . Знак «+» указывает на то, что раскрытие происходит с зеркальным подобием относительно оси  $Ox$ .

Таблица 2 – Идентичность подкомбинаций для  $D_n$

Подкомбинация		Идентичные компоненты	
		$D_n$	$D_s$
1a	AB	1a(-)	4a(-)
1б		1б(-)	4б(-)
1в		1в(-)	4в(-)
2a		2a(-)	5a(-)
2б		2б(-)	5б(-)
2в, 8(в,е,и)		2в, 8(в,е,и) (-)	5в, 8(г,ж,и) (-)
4a		4a(-)	1a(+)
4б		4б(-)	1б(+)
4в		4в(-)	1в(+)
5a		5a(-)	2a(+)
5б		5б(-)	2б(+)
7г		7г(-)	
7ж		7ж(-)	
7и		7и(-)	
8г	АО	8г(-)	
	ОБ		8в(+)
8ж	АО	8ж(-)	8е(+)
	ОБ		
9б	AB	9б,10a (-)	
10a			
10б		10б, 13a(-)	
13a			

На рисунке 2 приведены нормальные раскрытия трещины АВ для задач 1в, 4в, 7(г,ж,и).

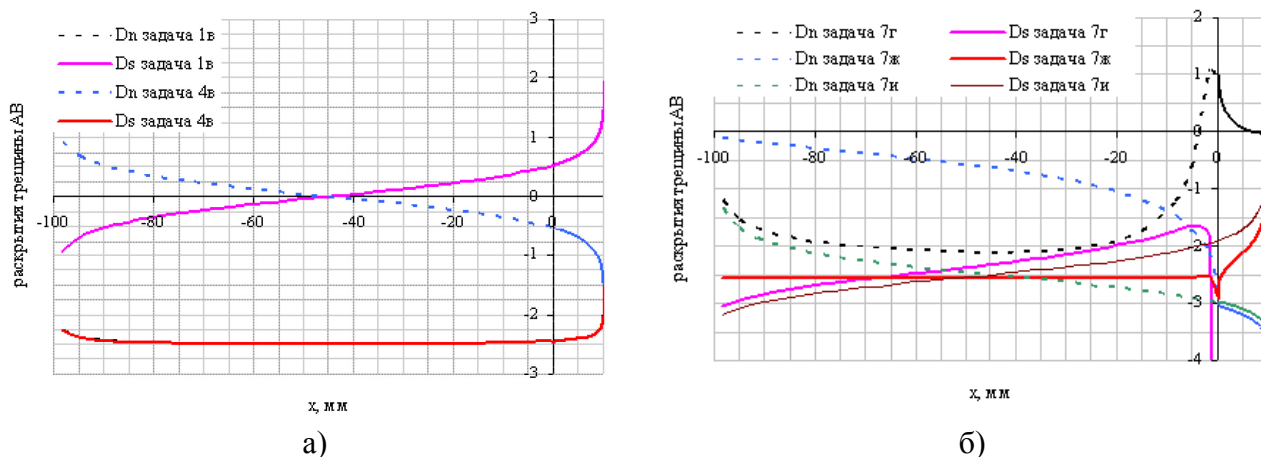


Рис. 2 – Раскрытия трещины  
а) – в подкомбинациях 1в,4в; б) – в подкомбинациях 7(г,ж,и)

Анализ результатов численного решения задач, приведенных в таблице 1 показал, что тождественность неоднотипных разрывов смещений позволяет определить постановки задач, дублирующие результаты одного из типов, и ограничить количество применяемых подкомбинаций в рамках численного рассмотрения. Идентичность какой-либо подкомбинации одной из комбинаций 1а-1в позволяет использовать при аппроксимации нормальных и сдвиговых раскрытий в зияющей части аналитические формулы, приведенные в работе Черепанова [5].

Таким образом, компьютерное моделирование методом разрывных смещений задач теории трещин, позволяет исследовать раскрытие берегов трещин на плоскости, в том числе определять тождественность распределений разрывов смещений берегов раскрывающихся трещин.

### Список литературы

1. Атлури С. Вычислительные методы в механике разрушения. М.: Мир, 1990, 392 с.
2. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела. М.: Мир, 1987, 328 с.
3. Линьков А.М. Комплексный метод граничных интегральных уравнений теории упругости. СПб.: Наука, 1999, 382 с.
4. Спиридонова Е.В., Белобородова С.В. Программный комплекс для численного решения плоских задач теории трещин со смешанными краевыми условиями. Свидетельство о регистрации программного средства № 2015616382 от 09.06.2015.
5. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974, 640 с.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ  
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (05.13.19)**

05.13.19

**О.М. Баранова, А.Н. Полубарьева, А.А. Соколова, С.В. Таранов канд. техн. наук**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,  
факультет Безопасных информационных технологий,  
Санкт-Петербург, serg.tvc@gmail.com

**АЛГОРИТМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ С  
ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ НА  
ОСНОВЕ КОДОВ С МАЛОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ПРОВЕРОК НА ЧЕТНОСТЬ**

*В статье предложена новая каскадная конструкция с возможностью обнаружения алгебраических манипуляций на основе кодов с малой плотностью проверок на четность. Выполнена качественная оценка характеристик аналогов кодовой конструкции, входящей в состав предлагаемого алгоритма обеспечения целостности, на основе границ вероятности маскировки ошибки. Построена функциональная модель защищаемого устройства хранения с отражением входных и выходных данных для каждого структурного элемента. Применение предлагаемой кодовой конструкции позволит снизить вероятность атак на основе алгебраических манипуляций, актуальных для современных устройств хранения информации.*

Ключевые слова: *информационная безопасность, алгоритмы обеспечения целостности, LDPC коды, AMD коды, алгебраические манипуляции, системы хранения данных.*

Для систем хранения информации одним из важнейших направлений является защита NAND флэш памяти, применяемой в SSD дисках. Ввиду высокой плотности записи для NAND флэш памяти характерны ошибки высокой кратности, которые оказывают непосредственное влияние на надежность и производительность данных устройств. Для обеспечения целостности информации в рассматриваемых системах хранения до недавнего времени применялись коды Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ коды) и коды Рида-Соломона, однако, данные решения имеют недостатки при поддержании должного уровня обнаружения ошибок при дальнейшем росте объемов современных SSD дисков [1]. В связи с возникшей проблемой в настоящее время предлагается альтернативный метод обеспечения защиты NAND флэш памяти — LDPC коды. Коды с малой плотностью проверок на четность уже показали свою эффективность в сфере обеспечения целостности устройств хранения и поэтому рассматриваются как основной алгоритм обеспечения целостности в будущих поколениях SSD дисков [2-5].

Ошибки высокой кратности, характерные для современных систем хранения, влекут за собой дополнительные проблемы информационной безопасности. Среди таких проблем особенно выделяется стойкость устройства хранения к алгебраическим манипуляциям, которыми называются атаки внедрения ошибок, направленные на компрометацию метода обеспечения целостности, применяемого в устройствах хранения информации [6-8]. LDPC и БЧХ коды являются уязвимыми для выделенной выше атаки, как и любой линейный блочный код. Для повышения устойчивости к алгебраической манипуляции в данной статье предлагается схема одновременного обнаружения ошибок, основанная на LDPC и AMD кодах.

AMD коды или коды, обнаруживающие алгебраические манипуляции, представляют собой нелинейные коды, позволяющие свести к минимуму вероятность маскировки ошибки.

Данный криптографический примитив был предложен М. Карповским [6-8] и представляет собой коды, которые устраняют, либо уменьшают необнаруживаемые ошибки, а также обеспечивают равномерную защиту от ошибок любой кратности, что приводит к повышению надежности и безопасности защищаемых устройств.

В представленной работе в качестве первой составляющей предлагается рассмотреть LDPC коды с высокой скоростью (8/9, 10/11 и более) по причине их эффективности при работе в многоуровневой NAND флэш памяти [1,2]. Для LDPC кодов процедура декодирования более сложная по сравнению с аналогичными решениями, базирующимися на конструкциях BCH и PC. В свою очередь для NAND флэш памяти исправление случайных ошибок различной кратности, которое свойственно для LDPC кодов, является важным преимуществом. Второй составляющей предлагаемого в данной статье решения является использование AMD кодов, которые позволяют свести к минимуму вероятность маскировки ошибки. Использование в качестве второй составляющей AMD кода обусловлено моделью злоумышленника при алгебраической манипуляции [6-8]. Согласно данной модели злоумышленник может обладать знаниями о хранимых в защищаемом устройстве значениях, а также иметь выборку из кодовых слов системы обеспечения целостности. Опираясь этими априорными данными, атакующий может сгенерировать искажения в системе хранения, таким образом, чтобы ошибка не была обнаружена линейным кодом. Для защиты от данной атаки предлагается в качестве внешнего кода использовать нелинейную функцию кодирования (AMD-код), для которой процесс нахождения необнаруживаемых ошибок вычислительно сложен.

Разработанный алгоритм обеспечения целостности содержит процедуры кодирования и декодирования хранимой информации. Процесс кодирования состоит из последовательных кодеров LDPC и AMD. Первая часть кодового слова представляет собой информационные биты (I). Для информационных битов генерируется избыточная часть в соответствии с выбранным LDPC кодом. Затем избыточная часть AMD кода генерируется для всего кодового слова LDPC. Кодовое слово, получаемое в результате выполнения алгоритма обеспечения целостности, представлено на Рисунке 1.



Рис. 1 – Структура кодового слова в предлагаемом алгоритме обеспечения целостности

Процесс проверки целостности информации включает в себя одновременно и декодирование с возможным исправлением ошибок, и обнаружение алгебраических манипуляций AMD составляющей. Для обеспечения защиты устройства хранения от алгебраических манипуляций предусматривается резервная область памяти, в которой хранятся проверочные суммы каскадной конструкции. Таким образом, в резервной области памяти хранятся проверочные суммы, сгенерированные LDPC и AMD кодерами в соответствии со структурой, представленной на Рисунке 1.

При проверке целостности информации алгоритм отправляет исходную информационную часть  $I$  и избыточную часть LDPC кода  $R_{LDPC}$  в LDPC декодер. LDPC декодер не обрабатывает избыточную часть  $R_{AMD}$ , часть  $R_{AMD}$  из устройства хранения сразу передается в модуль обнаружения алгебраических манипуляций. LDPC декодер в зависимости от своих корректирующих способностей исправляет искажения и генерирует декодированное значение  $I'$  и  $R_{LDPC}'$ . Некоторые искажения (например, алгебраические манипуляции, сгенерированные злоумышленником) могут быть пропущены LDPC кодом по причине его

линейной структуры, поэтому декодированное значение  $I'$  перепроверяется AMD кодом. На основе  $I'$  и  $R_{LDPC}'$  модуль обнаружения алгебраических манипуляций генерирует избыточную часть  $R'_{AMD}$ . Модуль обнаружения алгебраических манипуляций содержит в себе функции кодирования, которые применяются в AMD-кодере. Избыточные части  $R'_{AMD}$  и  $R_{AMD}$  ( $R_{AMD}$  выгружается из резервной памяти) сравниваются, и, если данные части не совпадают, то на выходе алгоритма генерируется сигнал об обнаружении алгебраической манипуляции.

Алгоритм обеспечения целостности, предлагаемый в данной статье, имеет ряд качественных преимуществ среди существующих аналогов (Таблица 1).

Разработанная конструкция 5 предусматривает параллельное обнаружение алгебраических манипуляций и исправление ошибок. В свою очередь, конструкции 1 и 2 не предусматривают защиту от алгебраических манипуляций и не содержат контрольных сумм, сгенерированных с помощью почти совершенно нелинейных функций, являющихся основой для AMD кодов.

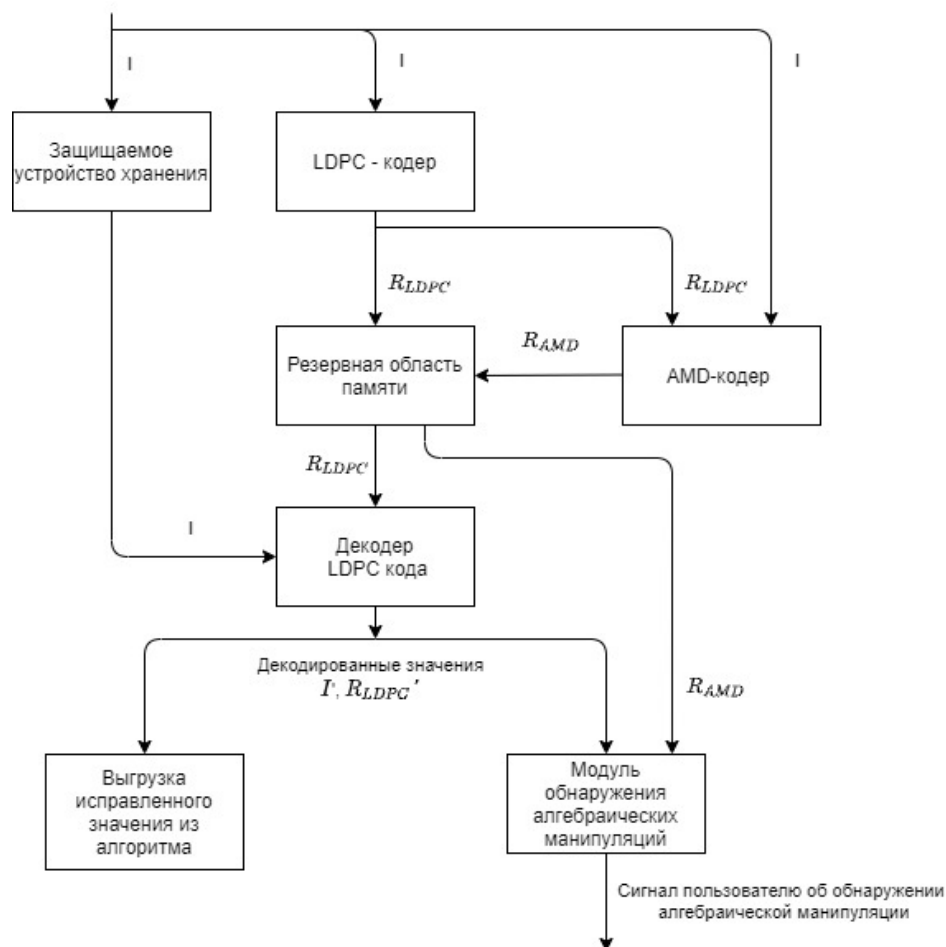


Рис. 2 – Процесс декодирования и обнаружения алгебраических манипуляций в алгоритме обеспечения целостности с использованием LDPC и AMD кодов

Каскадные конструкции 3 и 4 изначально созданы для защиты оперативной памяти. Однако, в настоящее время для конструкций 3 и 4 оценка вероятности маскировки ошибки проведена только для малых длин кодовых слов ( $\leq 64$  бита) и низких скоростей кода (1/2, 2/3). Длина избыточной части AMD кода в данных конструкциях выбиралась равной длине избыточной части внутреннего кода, что приводило к значительному росту общей длины кодового слова и соответствующим требованиям к резервной памяти. В свою очередь, исходными данными для построения предлагаемой в статье каскадной конструкции AMD+LDPC является соотношение между объемом резервной и основной памяти



не более 5-10%. Данное соотношение в качестве одной из составляющих задает LDPC коды со скоростью 8/9, 10/11 и более. Таким образом, разработанная каскадная конструкция даст новые данные об устойчивости LDPC кодов к алгебраическим манипуляциям.

Таблица 1 – Сравнение разработанного алгоритма с аналогами.  $k$  – длина информационной части,  $r_{AM}$  – длина избыточной части AMD кода, “-“ – оценка вероятности маскировки ошибки зависит от сложности нахождения коллизии в хэш-функции

	Конструкция	Сложность кодирования	Стойкость к алгебраическим манипуляциям	Исправление ошибок	Необнаруживаемые ошибки	Вероятность маскировки ошибки $Q(e)$
1	LDPC+код проверки на четность [9]	низкая	-	+	$2^k$	$Q(e) \leq 1$
2	LDPC+Рида Соломона [10]	низкая	-	+	$2^k$	$Q(e) \leq 1$
3	AMD+Код Хэмминга [7, 8]	средняя	+	+	0	$Q(e) \leq 2^{r_{AM}}$
4	AMD+CRC [7, 8]	средняя	+	+	0	$Q(e) \leq 2^{r_{AM}}$
5	AMD+LDPC	средняя	+	+	0	$Q(e) \leq 2^{r_{AM}}$
6	Hash (SHA-256, SHA-512)	высокая	+	-	0	-

Кодовые конструкции 3, 4 и 5 на основе AMD кодов уступают хэш-функциям при сравнении устойчивости к атакам на основе алгебраических манипуляций. Однако, при оценке вычислительной сложности алгоритмов многоитеративные хэш структуры заметно медленнее одиночных линейных преобразований и вычислений в малых полях Галуа, к которым сводятся конструкции 3, 4 и 5.

В качестве недостатка разработанного алгоритма можно отметить высокую сложность кодирования по сравнению с линейными конструкциями 1 и 2. AMD составляющая не обеспечивает исправления ошибок, поэтому при сравнении блоковой вероятности ошибки ожидается, что разработанный алгоритм будет уступать конструкциям 1 и 2. В свою очередь, устойчивость устройства хранения при использовании разработанного решения к злоумышленному манипулированию входными значениями и искажениями должна повыситься.

В дальнейших исследованиях планируется привести точные характеристики по возможным длинам информационной и избыточных частей, а также провести анализ блоковой вероятности ошибки и вероятности маскировки ошибки.

**Список литературы**

1. *Kai Zhao, Wenzhe Zhao, Hongbin Sun, Tong Zhang, Xiaodong Zhang, and Nanning Zheng†; S. Lin and D.J. Costello* LDPC-in-SSD: Making Advanced Error Correction Codes Work Effectively in Solid State Drives // *Error Control Coding: Fundamentals and Applications (2nd Ed.)*, Prentice Hall. – 2004.
2. *Yang J.* Novel ECC architecture enhances storage system reliability // in *Proc. of Flash Memory Summit*. – 2012.
3. *Hu X.* LDPC codes for flash channel // in *Proc. of Flash Memory Summit*. – 2012.
4. *Dong G., Xie, N. and T. Zhang* On the use of soft-decision error correction codes in NAND flash memory // *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. – 2011. - vol. 58. - pp. 429–439
5. *Motwani R., Kwok Z., and S. Nelson* Low density parity check (LDPC) codes and the need for stronger ECC // in *Flash Memory Summit*. - 2011.
6. *Karpovsky M.G., Taubin A.A* A New Class of Nonlinear Systematic Error Detecting Codes // *IEEE Trans Info Theory*. — 2004. — Vol. 50, no. 8. — Pp. 1818-1820.
7. *Akdemir K.D. Wang Z. Karpovsky M.G.* Design of cryptographic devices resilient to fault injection attacks using nonlinear robust codes // *Fault Analysis in Cryptography*. — 2012. — Pp. 171-199.
8. *Wang Z. Karpovsky M.G. Kulikowski K.J.* Design of memories with concurrent error detection and correction by nonlinear SEC-DED codes // *Journal of Electronic Testing*. — 2010. — Vol. 26, no. 5. — Pp. 559-580.
9. *Yang S., Han Y., Wu X., Wood R., and R. Galbraith* A Soft Decodable Concatenated LDPC Code//2015 *IEEE Transactions on Magnetics*.—2015.—Vol. 51, no.11. — pp. 1–4.
10. *Qiu J., Liu S., Chen L.* Concatenated Reed-Solomon/Spatially Coupled LDPC Codes// 2019 11th *International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, Xi'an, China. — 2019.— pp. 1-6.

05.13.19

**Г. Ряскин, А.Н. Полубарьева, С.В. Таранов канд. техн. наук**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,  
факультет Безопасных информационных технологий,  
Санкт-Петербург, serg.tvc@gmail.com

### **МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ КОДОВ С РАЗРЕЖЕННЫМИ МАТРИЦАМИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ**

*В данной статье представлены новые кодовые конструкции на основе разреженных проверочных матриц. Исследуются возможности применения предлагаемых конструкций для защиты от алгебраических манипуляций. Разработанные схемы кодирования основаны на бент функциях могут быть использованы для защиты от различных типов алгебраических манипуляций, в том числе при неравномерном распределении входных кодовых слов.*

Ключевые слова: надежные коды, AMD коды, LDPC коды, бент функции

Коды, обнаруживающие алгебраические манипуляции, (AMD коды) являются интенсивно исследуемым классом помехоустойчивых кодов. Впервые данные кодовые конструкции были рассмотрены в работе Марка Карповского [1], в которой AMD конструкции предлагались для защиты многоуровневой NAND флэш памяти в SSD дисках. Для решения проблемы защиты от алгебраических манипуляций в настоящее время повсеместно предлагаются конструкции на основе разреженных проверочных матриц, например, LDPC (low density parity check – коды с малой плотностью проверок на четность) кодов. Рассмотренные в статье конструкции (AMD и LDPC) являются многообещающими кодами для будущих семейств SSD дисков. В данной статье исследуются характеристики каскадных конструкций, которые объединяют LDPC и AMD коды.

Еще одним немаловажным направлением применения AMD кодов является защита от алгебраических манипуляций переносимых медицинских имплантов, ошибки в данных устройствах критичны и могут напрямую влиять на здоровье человека [2]. Развитие теории AMD кодов также крайне важно для создания надежных методов и механизмов, использующихся в нечетких экстракторах, схемах разделения секретов, схемах шифрования с открытым ключом, решениях для защиты от алгебраических манипуляций [3, 4, 5].

В свою очередь, очень много вопросов в области теории AMD кодов остаются неизученными. Например, не существует универсальной техники по выбору подходящих длин информационной и избыточной частей для сильной и слабой модели алгебраических манипуляций. В настоящее время имеется очень мало научных работ, посвященных важному аспекту зависимости характера алгебраической манипуляции от распределения входных кодовых слов, подаваемых на вход защищаемого устройства хранения информации.

В данной статье исследуется случай каскадной конструкции, составленной на основе квазициклического LDPC кода с защитой от алгебраических манипуляций на основе бент функций [6]. Выбор LDPC кода как примера внутреннего кода каскадной конструкции обусловлен необходимостью проверки надежности кодов с разреженными проверочными матрицами для защиты от алгебраических манипуляций. AMD составляющая на основе бент функции выбрана для ускорения процедуры подсчета вероятности маскировки ошибки, но при необходимости полученные результаты могут быть обобщены для случая AMD кода на основе совершенно нелинейных или почти совершенно нелинейных функций.

### Алгебраические манипуляции и основные классы AMD кодов

Впервые термин коды, обнаруживающие алгебраические манипуляции, а также модель сильной и слабой алгебраической манипуляций был предложен Рональдом Крамером в работе [7]. Однако, конструкции слабых AMD кодов существовали задолго до статьи Крамера, например, надежные коды Марка Карповского являются наиболее ранним примером данного класса кодовых конструкций [1].

*Определение 1. Надежные коды [1].* Надежными кодами являются нелинейные систематические коды, которые обеспечивают равномерную защиту от ошибок любой кратности при условии равномерного распределения входных кодовых слов.

Пусть  $N$  – это количество кодовых слов в некотором коде  $C$ . По определению  $R$ -надежного кода существует не более чем  $R$  кодовых слов, которые не могут обнаружить любую фиксированную ошибку  $e$ .

$$R(e) = |\{x | x \in C, x + e \in C\}|$$

Тогда вероятность маскировки ошибки может быть определена как

$$Q(e) = \frac{|\{x | x \in C, x + e \in C\}|}{M}$$

В случае линейных кодов возможно найти класс ошибок, для которых вероятность маскировки будет равна 1. Например, вектора ошибок, которые совпадают с разрешенными кодовыми комбинациями обладают данным свойством. В связи с этим, использование классических методов помехоустойчивого кодирования может привести к серьезной уязвимости информационной безопасности для устройства хранения.

Общая модель алгебраических манипуляций для некоторого абстрактного устройства хранения согласно Крамеру [7] может быть задана в виде, представленном на Рисунке 1.



Рис. 1 – Модель алгебраической манипуляции

Любое защищаемое устройство в данной модели представляется в виде абстрактного устройства хранения  $\sum G$ , которое хранит некоторый элемент  $g$  из конечной абелевой группы  $G$ . Как для сильной, так и для слабой модели алгебраической манипуляции злоумышленник не знает какой именно элемент  $g$  хранится в устройстве. Однако, атакующий может внедрить искажение  $e \in G$ . Успешное внедрение такой ошибки называется алгебраической манипуляцией.

В слабой модели алгебраических манипуляций злоумышленник может выбирать значение  $e$  только на основании своих априорных знаний о  $g$ . Атакующий в слабой модели не может изменять входное значение  $s$  и не может влиять на вероятность появления определенного входного значения. Таким образом, при моделировании устройства хранения в виде слабой модели закономерно считают входные значения  $s$  равновероятными или равномерно распределенными.

В случае сильной модели алгебраических манипуляций, атакующий может влиять на выходные значения путем выбора входных значений  $s$ . В данном случае злоумышленник знает значения  $s \in S$ , он может выбирать кодовые слова, которые будут с высокой вероятностью появляться на входе абстрактного устройства хранения. Другими словами, распределение входных кодовых слов при сильной модели алгебраических манипуляций может быть неравномерным и более того задаваться злоумышленником. Успешность алгебраической манипуляции в данном случае будет зависеть от характеристик помехоустойчивого кода.

Приведем определение AMD кода, а также классов сильных и слабых AMD конструкций.

*Определение 2. AMD коды.* Пусть  $m$  и  $n$  будут двумя положительными целыми числами.  $(m, n)$  - AMD кодом называется пара, первой компонентой которой является вероятностная функция кодирования  $E: S \rightarrow G$ , которая, в свою очередь, представляет собой отображение множества входных значений  $S$  в абелеву группу  $G$  порядка  $n$ . Второй компонентой является детерминированная функция декодирования  $D: G \rightarrow S \cup \{\perp\}$ , в которой  $D(E(s)) = s$  с вероятностью 1 для каждого  $s \in S$ , где  $\{\perp\}$  обозначает комбинацию, которая не входит в пространство кода.

AMD код называется систематическим, если множество  $S$  является группой и функция кодирования  $E$  имеет форму

$$\begin{aligned} E: S &\rightarrow S * G_1 * G_2 \\ s &\rightarrow (s, t, F(t, s)) \end{aligned}$$

для некоторой функции  $F$  с параметром  $t$ , который выбирается случайно из группы  $G_1$ .

*Определение 3. Слабые AMD коды.* AMD код называется слабым и  $\epsilon$ - безопасным при  $\epsilon > 0$ , если для каждого  $s$  выбранного случайно из множества  $S$  и для каждого  $e \in G$  выбираемого из  $G$  в соответствии с некоторым распределением, независимым от  $s$  и  $E(s)$ , вероятность того, что  $D: (E(s) + e) \notin \{s, \perp\}$  не более  $\epsilon$ .

Таким образом, в системе под защитой AMD кода в случаях, когда функция декодирования дает корректное значение  $s$  с вероятностью  $1 - \epsilon$  или когда генерируется специальный символ  $\{\perp\}$  считается, что обнаружена алгебраическая манипуляция.

*Определение 4. Сильный AMD код.* AMD код называется сильным и  $\epsilon$ - безопасным при  $\epsilon > 0$ , если для каждого  $s$  выбранного случайно из множества  $S$  и для каждого  $e \in G$  выбираемого из  $G$  в соответствии с некоторым распределением, независимым от  $E(s)$ , вероятность того, что  $D: (E(s) + e) \notin \{s, \perp\}$  не более  $\epsilon$ .

#### Оценка множества необнаруживаемых ошибок $R(\epsilon)$

В представленной работе в качестве первого компонента тестируемой кодовой конструкции выступает LDPC код с малой длиной кодового слова (не более 30 бит). Выбор малой длины кодового слова обусловлен необходимостью протестировать все множество кодовых слов и ошибок, а значит даже для малой длины кодового слова количество тестируемых комбинаций при разных условиях может превышать  $2^{30}$  комбинаций. В статье решается задача защиты от атак на устройства хранения информации, при которых злоумышленник знает, что помехоустойчивый код, применяемый для защиты, имеет разреженную структуру проверочной матрицы. Поставленный в статье эксперимент имеет цель изучить влияние структуры кода на успешное проведение алгебраической манипуляции злоумышленником.

Внутренним кодом каскадной кодовой конструкции является случайный регулярный LDPC код с разреженной проверочной матрицей, имеющей вес столбца, равный 3. Примеры регулярных LDPC кодов можно найти в работе [6].

Нелинейная часть каскадной конструкции основана на AMD коде, использующем бент функции. Бент функция, выбранная в качестве нелинейной части тестируемой конструкции, является характерной для кода Кердока. Код Кердока является надежным кодом и основан на бент функции, обладающей следующим свойством:

$$x_{2s+1} - x_1 * x_2 + x_3 x_4 + \dots + x_{2s-1} x_{2s},$$

В эксперименте оценивалась вероятность маскировки ошибки для описанной выше каскадной конструкции на основе разреженной проверочной матрицы. Эксперимент состоял из следующих этапов:

- генерация  $2^{14}$  случайных кодовых слов тестируемой каскадной кодовой конструкции на основе кода Кердока и LDPC кода с разреженной проверочной матрицей
- генерация  $2^{14}$  ошибочных векторов длиной 32 бита для каждого возможного веса
- оценка параметров  $R(e)$  и  $Q(e)$  по приведенным выше формулам.

#### Результаты эксперимента

Одним из результатов эксперимента является оценка параметра  $R(e)$ . В таблице 1 представлены пиковые значения (более 50 ошибочных векторов) данного параметра

Таблица 1 – Оценка параметра  $R(e)$

Вес вектора ошибки $e$	Количество необнаруживаемых ошибок $R(e)$
2	23274
3	468
4	245
5	149
25	126

Результаты оценки  $R(e)$  из таблицы 1 показывают, что априорное знание злоумышленника об использовании внутри защищаемого устройства хранения кода с разреженной структурой проверочной матрицы может дать ему дополнительные преимущества. В частности, если атакующий сконцентрируется на внедрении ошибок веса 2, 3, 4, то данные действия с высокой вероятностью приведут к успешной алгебраической манипуляции. В связи с этим для обеспечения полноценной защиты в устройствах хранения обязательно необходима отдельная дополнительная защита от ошибок малой кратности помимо систем обеспечения целостности, обнаруживающих алгебраические манипуляции. Как решение может быть использована методика с параллельным обнаружением ошибок, представленная в статье [5].

Более детальный анализ необнаруживаемых ошибок, выделенных в рамках эксперимента, позволил выделить процент уникальных ошибок, они представлены в Таблице 2. Данные показатели значительно меньше значений теоретического и рассчитанного в рамках эксперимента  $R(e)$ . Но, стоит заметить, что эксперимент проводился не для полного пространства ошибок, которое при выбранных длинах кодовых слов, будет иметь размерность  $2^{32}$ . Следовательно, реальное пространство ошибок больше.

Таблица 2 – Количество уникальных ошибок

Вес вектора ошибки $e$	Количество уникальных ошибок
2	67
3	11
4	4
5	2
25	1

Еще одним не менее важным выводом эксперимента является место искажения в кодовом слове каскадной конструкции. Например, для наиболее опасного класса ошибок веса 2 инверсии наблюдались одновременно в информационной и избыточной частях. Данный вывод может быть использован для дополнительной защиты от алгебраических

манипуляций, например, можно предусмотреть отдельную схему защиты для меньшей по длине избыточной части и таким образом избежать большинства ошибок, внедряемых злоумышленником при атаке, поскольку искаженный бит в избыточной части каскадной конструкции либо будет обнаружен, либо исправлен.

### Заключение

В статье рассмотрены проблемы обеспечения защиты от алгебраических манипуляций в современных устройствах хранения. В работе показано, насколько опасно использование кодов с разреженными проверочными матрицами в качестве внутреннего кода AMD конструкции. На примере, конструкции малой длины продемонстрировано, что злоумышленник может провести успешную алгебраическую манипуляцию и выделить приоритетный для внедрения класс искажений. В частности, для исследуемой в статье каскадной конструкции на основе LDPC кода и кода Кердока наиболее опасным является класс ошибок веса 2, данные ошибки с большой вероятностью могут привести к ошибкам в устройстве хранения. Проведенные исследования могут быть обобщены для кодовых конструкций LDPC и AMD большей длины, которые в настоящее время широко применяются для защиты SSD дисков, систем оперативной памяти и многих других областях.

### Список литературы

1. Luo P. Wang Z. Karpovsky M. G. Secure nand flash architecture resilient to strong fault-injection attacks using algebraic manipulation detection code // Proceedings of the International Conference on Security and Management (SAM) / The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp). — 2013. — P. 1.
2. Bu L., Karpovsky M.G., Kinsy M.A. Bulwark Securing implantable medical devices communication channels // Computers and Security. — 2019. — Vol. 86. — Pp. 498-511.
3. Cramer R. Dodis Y. Fehr S. Detection of Algebraic Manipulation with Application to robust secret sharing and fuzzy extractors // Proceeding of the theory and applications of cryptographic techniques 27th annual international conference on Advances in cryptology. — 2008. — Pp. 471-488.
4. Wee H. Public Key Encryption against Related Key Attacks / H. Wee // Public Key Cryptography – PKC 2012 : Lecture Notes in Computer Science / eds. M. Fischlin, J. Buchmann, M. Manulis. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. — P. 262-279.
5. Levina A., Taranov S., Creation of codes based on wavelet transformation and its application in ADV612 chips // International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing. – 2017. - Vol. 15. - No. 2. - 1750014.
6. Bocharova I.E., Hug F., Johannesson R., Kudryashov B.D. High-rate QC LDPC codes of short and moderate length with good girth profile // International Symposium on Turbo Codes and Iterative Information Processing, ISTC, 2012, pp. 150-154
7. Cramer R. Dodis Y. Fehr S. Detection of Algebraic Manipulation with Application to robust secret sharing and fuzzy extractors // Proceeding of the theory and applications of cryptographic techniques 27th annual international conference on Advances in cryptology. — 2008. — Pp. 471-488

**АННОТАЦИИ  
ABSTRACTS**

Н.С. Алексеев

**ГЕНЕРАТОР ПАСПОРТОВ ВАРИАНТОВ***Ключевые слова: вариант, паспорт варианта, целочисленный вектор, группа классов вычетов.*

*В работе рассматривается проблема формирования последовательности вариантов учебных заданий из заранее подготовленных наборов задач определенного типа. Предложены критерии оценки качества последовательности. Показано, что задачу можно свести к генерации последовательности целочисленных векторов – паспортов вариантов. Предложен алгоритм генерации этих паспортов и проведен анализ выполнения критериев.*

N.S. Alekseyev

**GENERATOR OF PASSPORTS OF VARIANTS***Keywords: variant, variant passport, integer vector, group of residue classes.*

*The paper considers the problem of generating a sequence of variants for study tasks from pre-prepared sets of tasks of a certain type. Criteria for evaluating the quality of a sequence are proposed. It is shown that the problem can be reduced to generating a sequence of integer vectors - passports of variants. An algorithm for generating these passports is proposed and an analysis of the fulfillment of the criteria is carried out.*

В.В. Андреев, В.Е. Гай, Н.П. Тарасова,  
А.А. Самойлов, Е.Д. Ермоленко, А.А. Сатаев  
**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ «ТЕХНИЧЕСКИЙ  
АНТИПЛАГИАТ» ДЛЯ ВКР БАКАЛАВРОВ**

*Ключевые слова: технический проект, антиплагиат, процент уникальности, система «Технический Антиплагиат». Рассмотрены проблемы применения системы «Антиплагиат» для проверки курсовых проектов и ВКР бакалавров по техническим специальностям. Сформулирован методический подход к разработке системы «Технический Антиплагиат» и направления использования указанной системы. Приведен пример работы системы «Технический Антиплагиат» по выявлению внутренних связей между параметрами, формирующими базу данных.*

V.V. Andreev, V.E. Gay, N.P. Tarasova,  
A.A. Samoilov, E.D. Ermolenko, A.A. Sataev  
**DEVELOPMENT OF THE SYSTEM «TECHNICAL  
ANTIPLAGIAT» FOR BACHELOR WORKSHOPS**

*Keywords: technical project, anti-plagiarism, percentage of uniqueness, «Technical Anti-plagiarism» system. The problems of using the «Anti-plagiarism» system for checking course projects and bachelor's papers in technical specialties are considered. A methodical approach to the development of the «Technical Antiplagiarism» system and directions for using this system are formulated. An example of the work of the system «Technical Anti-plagiarism» to identify internal links between the parameters that form the database is given.*

А.П. Буйносов, А.Т. Шарапов, А.А. Козлова  
**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО  
И ИСПОЛЪЗУЕМОГО ДЕМПФЕРА ЭЛЕКТРОВОЗА***Ключевые слова: электровоз, демпфер, используемый, усовершенствованный, параметр, расчет.*

*Приводится методика для расчета параметров демпфера с помощью рабочей диаграммы. Расчет производится для усовершенствованного и используемого гидродемпфера серии 667 электровоза ЭП2К. Для усовершенствованного демпфера параметр сопротивления находится в пределах 90–100, а для используемого – 75–125.*

A.P. Buinosov, A.T. Sharapov, A.A. Kozlova  
**CALCULATION OF PARAMETERS OF IMPROVED  
AND USED ELECTRIC LOCOMOTIVE DAMPER***Keywords: electric locomotive, damper, used, advanced, parameter, calculation.*

*A technique is given for calculating damper parameters using a working diagram. The calculation is made for the improved and used hydraulic damper of the 667 series of the EP2K electric locomotive. For an improved damper, the resistance parameter is in the range of 90–100, and for the one used, it is 75–125.*

В.В. Воронин

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРОВЕРОК***Ключевые слова: поиск дефектов, диагностическая цепь, проверка, объект проверки, производционное правило.*

*В работе представлены результаты формализации и анализа функциональных возможностей двух типов диагностических проверок – это проверки, реализуемые способом шунтирования и способом функциональных проб. Данные типы проверок анализируются для двух видов объектов проверки - в отношении последовательного и параллельного соединения в диагностических цепях их элементов.*

V.V. Voronin

**FORMALIZATION OF DIAGNOSTIC CHECKS***Keywords: search for defects, diagnostic chain, verification, object of verification, production rule.*

*The paper presents the results of formalization and analysis of the functionality of two types of diagnostic checks - these are checks implemented by the shunting method and the method of functional tests. These types of checks are analyzed for two types of check objects in relation to serial and parallel connections in the diagnostic circuits of their elements.*

И.Б. Гинзбург

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛОКАЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ  
ДАННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ НА СТОРОНЕ КЛИЕНТА***Ключевые слова: отказоустойчивые веб-приложения, автономные веб-приложения, кэш браузера, application cache, localstorage, service worker cache, indexeddb.*

*В статье проанализировано развитие возможностей локального хранения данных веб-приложений на стороне клиента с точки зрения их пригодности для обеспечения отказоустойчивости и автономной работы веб-приложений при отсутствии подключения к сети Интернет. Рассматривается решение задачи обеспечения отказоустойчивости и автономной работы веб-приложений средствами клиентской части самого веб-приложения. Обоснован выбор способов локального хранения данных веб-приложений на стороне клиента для реализации предложенного решения.*

I.B. Ginzburg

**WEB APPLICATIONS' CLIENT SIDE LOCAL DATA  
STORAGE POSSIBILITIES' ANALYSIS***Keywords: fault-tolerant web applications, standalone web applications, browser cache, application cache, localstorage, service worker cache, indexeddb.*

*The article analyzes web applications' client side local data storage capabilities' development in terms of their suitability for ensuring web applications' fault tolerance and offline operation in the absence of an Internet connection. The ensuring of web applications fault tolerance and autonomous operation problem solution by means of the web application client part itself is considered. The choice of web application data client side local storage methods for the proposed solution implementation is substantiated.*



Д.С. Горбатенко  
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА  
 УЧАСТКАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ВБЛИЗИ  
 ОБЪЕКТОВ ТОРГОВЛИ**

*Ключевые слова:* безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, улично-дорожная сеть, объекты торговли, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.

В статье рассматривается проблематика дорожно-транспортной аварийности на участках улично-дорожной сети вблизи которых функционируют объекты торговли. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий в таких местах. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике дорожно-транспортной аварийности.

Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков,  
 В.А. Бузин, В.С. Петров, В.А. Ракигин  
**АНАЛИЗ ОТКАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ  
 ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

*Ключевые слова:* Прогнозирование, надёжность, автомобили с пробегом, отказ, статистические данные, эксплуатационные затраты.

Легковые автомобили получили большое распространение в качестве универсального средства передвижения для решения широкого перечня задач, направленных на реализацию деятельности владельцев при индивидуальном использовании. Автомобильные организации и сообщества составляют рейтинги надёжности не только на основе регулярных технических осмотров, обращений в страховые компании и анкетирования автовладельцев, но и с учётом фактических ремонтов, зафиксированных в рамках технической помощи на дорогах, что позволяют оценивать изменение надёжности автомобилей по мере эксплуатации с высокой степенью достоверности и отслеживать тенденции по совершенствованию эксплуатационных свойств в зависимости от модельных годов выпуска, обновлений и преемственности поколений. В этой связи, результаты исследований по прогнозированию эксплуатационных расходов легковых автомобилей на основе статистических данных об отказах и долговременных наблюдений могут быть использованы в качестве объективных индикаторов для определения оптимального срока эксплуатации новых автомобилей и аргументированной оценки потенциальных затрат на техническое обслуживание и ремонт при покупке автомобилей с пробегом на вторичном рынке.

Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков,  
 А.А. Панфилов, В.С. Петров, В.А. Ракигин  
**ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА  
 УРОВЕНЬ ЗАРЯЖЕННОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ  
 АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ**

*Ключевые слова:* Прогнозирование, надёжность, уровень заряженности, мощность электрооборудования, статистические данные, эксплуатационные затраты.

Устойчивый рост количества и мощности потребителей электроэнергии на современных автомобилях при снижении средней скорости движения в городе и тенденциях к замещению части поездок на основе новых средств мобильности способствуют снижению уровня заряженности аккумуляторных батарей. К повышению электропотреблению дополнительного оборудования во время пуска двигателя и прогрева салона при малой интенсивности эксплуатации добавляется мощность новых электронных блоков управления, работа которых требуется в определённых режимах для сбора данных о параметрах работы бортовых систем даже после выключения зажигания. Поэтому восполнение заряда от генератора на фоне внедрения электронных систем и устройств, повышающих комфорт и безопасность, занимает больше времени и требует применения дополнительных систем

D.S. Gorbatenko  
**ENSURING TRAFFIC SAFETY ON ROAD NETWORK  
 SECTIONS NEAR TRADE OBJECTS**

*Keywords:* traffic safety, traffic accident, road network, trade facilities, traffic violations, accident prevention.

The article deals with the problem of road traffic accidents in the sections of the road network near which the objects of trade operate. The analysis of the main causes of traffic accidents in such places was carried out. Proposed and theoretically substantiated measures for the prevention of road traffic accidents.

N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov,  
 V.A. Buzin, V.S. Petrov, V.A. Rakitin  
**FAILURE ANALYSIS OF INDIVIDUAL VEHICLES**

*Keywords:* Forecasting, reliability, used cars, failure, statistics, operating costs.

Passenger cars have become widely used as a universal means of transportation for solving a wide range of tasks aimed at implementing the activities of owners in individual use. Automotive organizations and communities make reliability ratings not only on the basis of regular technical inspections, appeals to insurance companies and questionnaires of car owners, but also taking into account the actual repairs recorded as part of technical assistance on the roads, which allow us to assess the change in reliability of cars as they operate with a high degree of reliability and monitor trends to improve performance properties depending on model years, updates and continuity of generations. In this regard, the results of research on forecasting the operating costs of passenger cars based on statistical data on failures and long-term observations can be used as objective indicators for

N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov,  
 A.A. Panfilov, V.S. Petrov, V.A. Rakitin  
**THE INFLUENCE OF ELECTRICAL EQUIPMENT POWER  
 ON THE LEVEL OF CHARGE OF CAR BATTERIES**

*Keywords:* Forecasting, reliability, level of charge, power of electrical equipment, statistical data, operating costs.

A steady increase in the number and capacity of electric power consumers in modern cars, with a decrease in the average speed of movement in the city and trends towards replacing part of the trips based on new means of mobility, contribute to a decrease in the level of battery charging. The power of new electronic control units is added to the increased power consumption of additional equipment during engine start-up and cabin warm-up at low intensity of operation, the operation of which is required in certain modes to collect data on the parameters of the on-board systems even after the ignition is turned off. Therefore, replenishing the charge from the generator against the background of the introduction of electronic systems and devices that increase comfort and safety takes more time and requires the use of additional systems for monitoring power consumption, which determines the need to analyze the patterns of changes

по контролю электропотребления, что предопределяет необходимость анализа закономерностей изменения мощности электропотребителей для совершенствования методов заряда аккумуляторных батарей при малой интенсивности эксплуатации.

Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков,  
В.С. Петров, В.П. Назаров, В.А. Ракин  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЗАРЯДА АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ  
БАТАРЕЙ

*Ключевые слова:* Прогнозирование, надёжность, свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, уровень заряженности, отказ, статистические данные, эксплуатационные затраты. Конструкция свинцово-кислотных аккумуляторных батарей соответствует требованиям надёжности, безопасности и экологичности при оптимальных показателях стоимости производства и утилизации. Вместе с тем, условия и интенсивность эксплуатации автомобилей варьируют в широких пределах, а особенности электрохимических процессов внутри аккумуляторов отличаются эффективностью только в положительных диапазонах температур при определённых параметрах заряда/разряда, отклонение от оптимальных значений которых негативно сказывается на уровне заряженности и приводит к преждевременным отказам систем электростартерного пуска, блоков управления и других элементов дополнительного электрооборудования, чувствительных к перепадам напряжения. В этой связи, исследования, направленные на изучение закономерностей формирования уровня заряженности аккумуляторных батарей и совершенствования методов обеспечения их заряда для повышения показателей надёжности автомобилей и снижения эксплуатационных затрат, актуальны.

А.А. Кораблева, А.С. Полякова,  
Л.В. Липинский, Н.В. Ковбаса  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЭВОЛЮЦИИ  
САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ АЛГОРИТМОВ

*Ключевые слова:* коэволюция, самонастройка, генетические операторы, экстремум функции, дисперсия, критерий Уилкоксона. Исследуется эффективность коэволюции, в схему которой включены алгоритмы с процедурой самонастройки генетических операторов. Проводится анализ изменения вероятностей применения генетических операторов, а также исследуются результаты тестирования предложенного подхода на тестовых функциях оптимизации, производится подсчет дисперсии полученных выборок и проверка их статистической значимости.

С.А. Манцеров  
ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА СИНТЕЗА  
ЭКОБЕЗОПАСНЫХ СИСТЕМ

*Ключевые слова:* экобезопасность, комплексный показатель экобезопасности, оптимальный синтез. В работе представлены результаты оптимального синтеза экологически безопасного (экобезопасного) объекта сложной структуры, который выполняется путем поиска объекта с идентичным функционалом и максимальным значением показателя экобезопасности объекта, значение которого, характеризует комплексный (обобщенный) показатель экобезопасности.

Т.Е. Тлегинова, Н.Н. Манаева  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСВОЕНИЯ МАССОВОГО  
ОТКРЫТОГО ОНЛАЙН-КУРСА

*Ключевые слова:* алгоритмы прогнозирования, интеллектуальный анализ данных, онлайн-обучение. В работе рассматриваются особенности прогнозирования

N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov,  
V.S. Petrov, V.P. Nazarov, V.A. Rakitin  
IMPROVEMENT OF METHODS FOR ENSURING THE  
CHARGING OF CAR BATTERIES

*Keywords:* Forecasting, reliability, lead-acid batteries, charge level, failure, statistical data, operating costs. The design of lead-acid batteries meets the requirements of reliability, safety and environmental friendliness with optimal production and disposal costs. At the same time, the conditions and intensity of operation of cars vary widely, and the features of electrochemical processes inside batteries differ in efficiency only in positive temperature ranges with certain charge/discharge parameters, deviation from optimal values of which negatively affects the level of charge and leads to premature failures of electric starter start systems, control units and other elements of additional electrical equipment sensitive to voltage drops. In this regard, research aimed at studying the regularities of the formation of the level of charge of batteries and improving the methods of ensuring their charge to increase the reliability of cars and reduce operating costs are relevant.

A.A. Korableva, A.S. Polyakova,  
L.V. Lipinskiy, N.V. Kovbasa  
INVESTIGATION OF THE COEVOLUTION  
EFFICIENCY OF SELF-ADJUSTING ALGORITHMS

*Keywords:* coevolution, self-tuning, genetic operators, function extremum, variance, Wilcoxon test. We study the efficiency of coevolution, the scheme of which includes algorithms with a self-tuning procedure for genetic operators. An analysis of the change in the probabilities of applying genetic operators is carried out, as well as the results of testing the proposed approach on test optimization functions, the variance of the obtained samples is calculated and their statistical significance is checked.

S.A. Mantserov  
OPTIMIZATION OF AN ALGORITHM  
FOR SYNTHESIS OF ECO-SAFE SYSTEMS

*Keywords:* environmental safety, complex indicator of environmental safety, optimal synthesis. The paper presents the results of the optimal synthesis of an environmentally safe (eco-safe) complex structure object, which is performed by searching for an object with identical functionality and the maximum value of the object's environmental safety indicator, the value of which characterizes a complex (generalized) environmental safety indicator.

T.E. Tlegenova, N.N. Manaeva  
DATA MINING FOR PREDICTING THE DEVELOPMENT  
OF A MASSIVE OPEN ONLINE COURSE

*Keywords:* forecasting algorithms, data mining, online learning. The paper discusses the features of forecasting the development of a massive open online course (MOOC) by data mining

освоения массового открытого онлайн-курса (МООК) методами интеллектуального анализа данных. Детальное внимание уделено разработке алгоритма интеллектуального анализа данных с целью оптимизации производительности МООК. Применяя разработанный алгоритм анализа данных, авторы работы прогнозируют итоговые оценки слушателей, которые имеют риск не освоить курс.

Е.Г. Царькова

#### ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ОХРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Ключевые слова: система охраны, надёжность, оптимальное управление, искусственная нейронная сеть.*

В работе исследуются методы оптимизации надёжности технических средств охраны. Рассматриваются способы определения вероятности состояния готовности технических систем при различных сочетаниях параметров системы. Задача оптимизации технического обслуживания (далее – ТО) охранного оборудования формулируется в виде задачи оптимального управления. Для учета и компенсации случайных неучтенных воздействий в модель наряду с классическим оптимальным управлением вводится управление искусственной нейронной сетью (ИНС) – нейроуправление.

Л.О. Чернышев, Ю.Н. Матвеев

#### КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И АНАЛИЗА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ МЕСТНОСТИ

*Ключевые слова: оперативное реагирование, вероятностное моделирование, клеточная модель, перенос, препятствие.*

В статье рассмотрена система визуализации последствий аварии на основе вероятностной клеточной модели с учетом эффектов взаимодействия выброса с препятствиями. Представлена обобщенная схема обработки информации в системе. Ассимиляция данных основана на алгоритме волновой трассировки, формирующем карту целевой функции. Рассмотрен практический пример работы системы.

Н.М. Чиганова

#### ВЛИЯНИЕ МЕШАЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ НА ДОВЕРИТЕЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

*Ключевые слова: интервальная оценка, монотонность функции, надёжность, параметр.*

При решении задач проверки надёжности и качества изделий иногда возникает необходимость найти интервал, в который с определенной вероятностью может попасть оцениваемый параметр. В ряде случаев в инженерных задачах появляется необходимость учитывать мешающие параметры, которые присутствуют при оценке. В статье доказываются утверждения, позволяющие эффективно использовать предлагаемый метод для интервальной оценки. Рассмотрен пример применения предложенного метода.

#### М.Ю. Шрейдер, А.С. Боровский, А.Д. Тарасов МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

*Ключевые слова: система физической защиты, оценка эффективности СФЗ, модель EASI.*

В статье рассматривается модель Estimate of Adversary Sequence Interruption (EASI) представляющая оценку несанкционированного проникновения нарушителя на охраняемый объект. Приводятся примеры.

methods. Detailed attention is paid to the development of an algorithm for data mining in order to optimize the performance of MOOCs. Using the developed algorithm of data analysis, the authors of the work predict the final grades of students who have a risk of not mastering the course.

E.G. Tsarkova

#### OPTIMAL MANAGEMENT OF SECURITY EQUIPMENT MAINTENANCE

*Keywords: security system, reliability, optimal control, artificial neural network.*

Methods of optimization of reliability of technical means of protection are investigated in the work. The methods of determining the probability of the state of readiness of technical systems with various combinations of parameters of the maintenance system are considered. The task of optimizing the maintenance of security equipment is formulated in the form of an optimal control problem. To account for and compensate for random unaccounted impacts, along with classical optimal control, artificial neural network (INS) control is introduced into the model – neurocontrol.

L.O. Chernyshev, Yu.N. Matveev

#### COMPUTER SYSTEM FOR VISUALIZATION AND ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF ACCIDENTAL EMISSIONS IN THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL DEVELOPMENT OF THE TERRAIN

*Keywords: operational response, probabilistic modeling, cellular model, transfer, obstacle.*

The article considers a system for visualizing the consequences of an accident based on a probabilistic cellular model, taking into account the effects of the interaction of a release with obstacles. The generalized scheme of information processing in the system is presented. Data assimilation is based on a wave tracing algorithm that generates a map of the objective function. A practical example of the system operation is considered.

N.M. Chiganova

#### INFLUENCE OF INTERFERING PARAMETERS ON THE CONFIDENCE ESTIMATION OF RELIABILITY INDICATORS

*Keywords: interval estimation, function monotonicity, reliability, parameter.*

When solving problems of checking the reliability and quality of products, sometimes it becomes necessary to find an interval in which the estimated parameter can fall with a certain probability. In some cases, in engineering problems, it becomes necessary to take into account interfering parameters that are present in the assessment. The article proves assertions that make it possible to effectively use the proposed method for interval estimation. An example of the application of the proposed method is considered.

#### M.Yu. Schryder, A.S. Borovsky, A.D. Tarasov PHYSICAL PROTECTION SYSTEMS EFFECTIVENESS EVALUATION USING THE EASI MODEL

*Keywords: physical protection system, PPS effectiveness evaluation, EASI model.*

The article discusses the Estimate of Adversary Sequence Interruption (EASI) model, which represents an assessment of an unauthorized intruder's entry into a protected object. Examples are given.

И.А. Щудро, Н.А. Тишина, Н.П. Мошуров, Ю.Д. Фот  
 НЕЙРОСЕТЕВОЙ КЛАССИФИКАТОР КОМПАНИЙ  
 НА ИНФОРМАЦИОННОМ САЙТЕ

*Ключевые слова:* нейросетевой классификатор, многослойный перцептрон, бинарная классификация, ранжирование компаний. В статье представлены результаты применения нейронных сетей в задачах ранжирования компаний, предоставляющих товары и услуги на информационном сайте. Представлены этапы разработки нейросетевого классификатора (НСК) с обучением алгоритмом обратного распространения ошибки, определена точность построенного бинарного классификатора.

I.A. Schudro, N.A. Tishina, N.P. Moshurov, Yu.D. Fot  
 NEURAL NETWORK CLASSIFIER COMPANIES ON THE  
 INFORMATION SITE

*Keywords:* neural network classifier, multilayer perceptron, binary classification, company ranking. The article presents the results of using neural networks in the tasks of ranking companies that provide goods and services on an information site. The stages of development of a multilayer neural network classifier with training by the backpropagation algorithm are presented, the accuracy of the constructed binary classifier is determined.

А.Г. Горюнов, Б.П. Степанов, Е.А. Суханов  
 ФОРМИРОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ  
 ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ

*Ключевые слова:* Системы безопасности, обучающая среда, системы физической защиты. В работе рассмотрены вопросы создания обучающей среды по моделированию процессов функционирования элементов систем безопасности. Предлагаемая концепция обучающей среды позволяет проводить моделирование процессов с учетом особенностей функционирования объекта. Предложена структура среды и принципы ее работы. Сделаны рекомендации по применению аналитического комплекса для обучения специалистов.

A.G. Goryunov, B.P. Stepanov, E.A. Sukhanov  
 FORMATION OF MANAGEMENT METHODS  
 IN THE ORGANIZATION OF SECURITY SYSTEMS

*Keywords:* Security systems, learning environment, physical protection systems. The paper considers the issues of creating a learning environment for modeling the processes of functioning of elements of security systems. The proposed concept of the learning environment allows modeling processes taking into account the features of the object's functioning. The structure of the medium and the principles of its operation are proposed. Recommendations are made on the use of the analytical complex for training specialists.

А.В. Каменев, А.В. Коськин  
 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ  
 АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИНТЕГРАЦИИ  
 МЕЖВУЗОВСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕК

*Ключевые слова:* архитектура системы, интеграция данных, межвузовские электронные библиотеки, подсистемы и модули. В статье рассматриваются вопросы проектирования архитектуры системы автоматизации интеграционных процессов межвузовских электронных библиотек. Ключевым моментом, описанным в статье, является разбиение системы на отдельные подсистемы и модули, благодаря чему уменьшается связанность компонентов между собой. Рассмотрена архитектура каждой из выделенных подсистем, а также описано применение архитектуры, ориентированной на события, в тех частях, где требуется асинхронное взаимодействие компонентов.

A.V. Kamenev, A.V. Koskin  
 ARCHITECTURE DESIGNING OF THE AUTOMATION  
 SYSTEM OF INTERUNIVERSITY ELECTRONIC  
 LIBRARIES INTEGRATION PROCESSES

*Keywords:* system architecture, data integration, interuniversity electronic libraries, subsystems and modules. The article deals with the architecture designing issues of the automation system for the integration processes of interuniversity digital libraries. The key point described in the article is the dividing of the system into separate subsystems and modules, which reduces the interconnection of the components with each other. The architecture of each of the selected subsystems is considered, and the usage of an event-oriented architecture is described in those parts where asynchronous interaction of components is required.

Н.В. Карабонцева, Г.А. Мацур, М.В. Карабонцева,  
 К.А. Вотяков, В.А. Серик, В.В. Мироненко, А.А. Савельева  
 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ  
 КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ,  
 ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ  
 СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Ключевые слова:* щуп, измерения, контроль, качество, координатно-измерительная машина. Изготовление сложнопрофильных элементов конструкций на машиностроительных предприятиях требует внедрения современных методов контроля и проведения измерений. Привычные методы мониторинга – шаблоны, измерительные приборы и инструменты – уступают место КИМ, которые способны решить ряд задач: проведение прецизионных измерений изделий сложной формы. Актуальность темы обусловлена тем, что разработка датчиков КИМ является продолжением процесса совершенствования измерительных процессов в производстве машиностроения.

N.V. Karabontseva, G.A. Matur, M.V. Karabontseva,  
 K.A. Votyakov, V.A. Serik, V.V. Mironenko, A.A. Savelyeva  
 COMPARATIVE ANALYSIS OF SENSORS  
 OF COORDINATE-MEASURING EQUIPMENT USED  
 FOR CONTROL OF PARAMETERS  
 OF COMPLEX-PROFILE PARTS

*Keywords:* probe, measurements, control, quality, coordinate-measuring machine. The manufacture of complex structural elements at machine-building enterprises requires the introduction of modern methods of control and measurement. Familiar monitoring methods - templates, measuring instruments and tools - give way to CMM, which are able to solve a number of problems: making precision measurements of complex products. The relevance of the topic is due to the fact that the development of sensors of coordinate-measuring machines is a continuation of the process of improving measuring processes in the production of mechanical engineering.

Н.В. Карабонцева, Г.А. Мацур, М.В. Карабонцева,  
 К.А. Вотяков, В.А. Серик, В.В. Мироненко, А.А. Савельева  
 УСТРАНЕНИЕ АДГЕЗИОННОГО ИЗНОСА ЩУПА КИМ  
 ОТ ОКИСНОЙ ПЕЛЕНА АЛЮМИНИЯ

*Ключевые слова:* щуп, измерения, контроль, качество, координатно-измерительная машина. В основе изготовления качественных изделий авиационного машиностроения и радиоэлектроники лежит точность,

N.V. Karabontseva, G.A. Matur, M.V. Karabontseva,  
 K.A. Votyakov, V.A. Serik, V.V. Mironenko, A.A. Savelyeva  
 ELIMINATION OF ADHESION WEAR OF PROBE  
 OF COORDINATE-MEASURING MACHINE  
 FROM ALUMINIUM OXIDE SHROUD

*Keywords:* probe, measurements, control, quality, coordinate-measuring machine. The basis for the manufacture of high-quality aircraft products,

которая задается конструкторской документацией. Большая доля контрольных операций в усовершенствованном производстве приходится на измерение угловых и линейных размеров. Особо широкое распространение при контроле качества в современном производстве получили координатно-измерительные машины. Актуальность выбранной темы обусловлена высоким уровнем контроля качества выпускаемых предприятием деталей с целью повышения качества конечного агрегата(узла).

А.Х. Тазмеев, А.Г. Николаев,  
А.Н. Илюхин, Э.Л. Хазиев, Е.В. Зубков  
МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВНОГО  
КОПИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН HYPER-V

Ключевые слова: проектирование систем, технологии резервного копирования, хранение данных, диаграммы.

Спроектирована и реализована система резервного копирования виртуальных машин Hyper-V. Созданное программное обеспечение позволило сделать процесс автономным и выполнять его по расписанию, сжимать и перемещать копии на файловое хранилище, при этом в несколько раз уменьшив занимаемое пространство на диске для одной копии.

А.Р. Фардеев, Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов  
ВЫВОД УРАВНЕНИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ЗАВИСИМОСТЬ  
ДАВЛЕНИЯ И РАБОЧЕГО ОБЪЁМА НАСОСА  
ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА  
Ключевые слова: ветронасосная установка, система циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости, машиностроительное предприятие, угловая скорость вращения ротора ветродвигателя, скорость ветра, автоматизация.

В данной статье проводится анализ работы ветронасосной установки в составе системы циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости машиностроительного предприятия при изменении скорости ветра. Используя зависимости момента, приложенного к ротору ветродвигателя со стороны внешних сил и момента, потребляемого насосом, от угловой скорости вращения ротора ветродвигателя, скорости ветра и давления насоса, получено уравнение, связывающее угловую скорость вращения ротора ветродвигателя с давлением насоса. Решая это уравнение с учетом зависимости полезной мощности насоса от его давления, получены формулы для рабочего объема насоса и его давления в зависимости от скорости ветра. Эти формулы будут необходимы при автоматизации работы ветронасосной установки.

А.В. Болдырев, С.В. Болдырев, Д.Л. Карелин  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ВИХРЕВОМ  
НАСОСЕ ОТКРЫТОГО ТИПА ПРИ РАЗЛИЧНОМ УГЛЕ  
НАКЛОНА ВЫХОДНОГО КАНАЛА

Ключевые слова: математическая модель; численное моделирование; установившееся турбулентное течение; вихревой насос открытого типа с открытым боковым каналом; характеристики.

В статье выполнено численное моделирование установившегося турбулентного течения несжимаемой жидкости в вихревом насосе открытого типа с открытым боковым каналом. Использованы уравнения Навье-Стокса и неразрывности, осредненные по Рейнольдсу, и уравнения двухслойной Realizable k-ε модели турбулентности, учитывающей кривизну линий тока. Для приближенного решения уравнений применен метод конечных объемов, аппроксимация производных 2-го порядка, итерационный метод. Сеточная независимость решения оценена по значениям напора и КПД при оптимальной подаче насоса, в расчетах использована сетка, содержащая около 3.22 млн. многогранных ячеек. Исследовано влияние угла наклона выходного канала на структуру течения, напор и коэффициент полезного действия вихревого насоса (7 вариантов).

mechanical engineering and radio electronics is accuracy, which is set by design documentation. A large share of control operations in advanced production is accounted for by measuring angular and linear dimensions. Coordinate-measuring machines have become particularly widespread in quality control in modern production. The relevance of the selected topic is due to the high level of quality control of the parts produced by the enterprise in order to improve the quality of the final unit.

A.Kh. Tazmееv, A.G. Nikolaev,  
A.N. Iljuhin, E.L. Khaziev, E.V. Zubkov  
DESIGN TECHNIQUE FOR HYPER-V VIRTUAL  
MACHINE BACKUP SYSTEM

Keywords: system design, backup technology, data storage, flowchart.

A backup system for Hyper-V virtual machines was designed and implemented. The created software made it possible to make the process autonomous and run it according to a schedule, compress and move copies to file storage, while reducing the disk space occupied for a single copy by several times.

A.R. Fardeev, F.D. Bairamov, B.F. Bairamov  
DERIVATION OF EQUATIONS DESCRIBING  
DEPENDENCE OF PRESSURE AND WORKING VOLUME  
OF WIND-PUMPING UNIT PUMP ON WIND SPEED

Keywords: wind-pumping unit, lubricating-cooling fluid circulation system, engineering enterprise, angular velocity of wind motor rotor, wind speed, automation.

The article focuses on the analysis of wind-pump installation operation as a part of lubricating-cooling fluid circulation system of a machine-building enterprise at variation of wind speed. The equation connecting angular speed of rotation of the rotor of the wind-driven motor, wind speed and pressure of the pump, was derived by using the dependencies of the moment applied to the rotor of the wind-driven motor from the external forces and the momentum consumed by the pump, and the equation connecting angular speed of rotation of the wind-driven motor with the pressure of the pump. Solving this equation in relation to the useful power of the pump and its pressure in relation to the wind speed are derived. These formulas will be necessary at automating the operation of wind-pump system.

A.V. Boldyrev, S.V. Boldyrev, D.L. Karelin  
SIMULATION OF THE LIQUID-FLOW  
IN A SIDE CHANNEL PUMP WITH VARIOUS  
SLOPE-ANGLES AT THE OUTLET

Keywords: math-model, numerical simulation, steady turbulent flow, side channel pump, performance.

The article presents the numerical simulation of the steady turbulent flow of an incompressible fluid in a side channel pump. Averaged by Reynolds the Navier-Stokes and continuity, and the two-layer Realizable k-ε turbulence model equations (with taking into account the curvature of a streamlines) are used. The numerical solution was accomplished by the finite-volume method with the approximation of the 2nd order derivatives during the iteration series. The mesh independence of the solution was estimated with regard to a head values and an efficiency-factor values at optimal pump flow (about 3.22 million of a polyhedral cells). Effect of a slope-angle at the outlet on the flow structure, head and efficiency-factor of a side channel pump was estimated over the 7-cases' range.

Е.В. Гусев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ И  
ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ ЛА*Ключевые слова: время восстановления, коэффициент готовности, работоспособное состояние, сложная техническая систем, техническое обслуживание.*

*В работе рассмотрены вопросы, связанные с особенностями технического обслуживания и определения оптимальной длительности и периодичности проведения технического обслуживания в зависимости от известных показателей надежности, характеристик системы технического обслуживания и требуемому времени безотказной работы. Разработан алгоритм, воспроизводящий процесс эксплуатации систем ЛА в течение длительного времени*

E.V. Gusev

SIMULATION OF THE OPERATION PROCESS TO  
DETERMINE THE OPTIMAL FREQUENCY AND  
DURATION OF MAINTENANCE OF AIRCRAFT UNITS  
AND SYSTEMS*Keywords: recovery time, availability factor, operational condition, complex technical systems, maintenance*

*The paper considers issues related to the features of maintenance and determining the optimal duration and frequency of maintenance, depending on the known reliability indicators, the characteristics of the maintenance system and the required uptime. An algorithm has been developed that reproduces the operation of aircraft systems for a long time.*

Е.В. Спиридонова, Н.А. Гамова,

Н.В. Кулиш, Л.А. Суяргулова

КЛАССИФИКАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ РАЗРЫВНЫХ СМЕЩЕНИЙ  
ПЛОСКИХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ТРЕЩИН*Ключевые слова: трещина на плоскости, смешанные краевые условия, метод разрывных смещений.*

*В настоящей статье приведена классификация и анализ подобия распределений разрывов смещений берегов раскрывающихся трещин, выполненный на основе компьютерного моделирования методом разрывных смещений.*

E.V. Spiridonova, N.A. Gamova,

N.V. Kulish, L.A. Suyargulova

CLASSIFICATION AND COMPUTER MODELING THE  
METHOD OF DISCONTINUOUS DISPLACEMENTS  
PLANE PROBLEMS OF THE THEORY OF CRACKS*Keywords: crack on the plane, mixed boundary conditions, method of discontinuous displacements.*

*This article presents a classification and analysis of the similarity of the distributions of fractures of the banks of displacements of the opening cracks, performed on the basis of computer simulation by the method of discontinuous displacements.*

О.М. Баранова, А.Н. Полубарьева,

А.А. Соколова, С.В. Таранов

АЛГОРИТМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ  
ИНФОРМАЦИИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ  
АЛГЕБРАИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ НА ОСНОВЕ КОДОВ  
С МАЛОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ПРОВЕРОК НА ЧЕТНОСТЬ*Ключевые слова: информационная безопасность, алгоритмы обеспечения целостности, LDPC коды, AMD коды, алгебраические манипуляции, системы хранения данных.*

*В статье предложена новая каскадная конструкция с возможностью обнаружения алгебраических манипуляций на основе кодов с малой плотностью проверок на четность. Выполнена качественная оценка характеристик аналогов кодовой конструкции, входящей в состав предлагаемого алгоритма обеспечения целостности, на основе граничной вероятности маскировки ошибки. Построена функциональная модель защищаемого устройства хранения с отражением входных и выходных данных для каждого структурного элемента. Применение предлагаемой кодовой конструкции позволит снизить вероятность атак на основе алгебраических манипуляций, актуальных для современных устройств хранения информации.*

O.M. Baranova, A.N. Polubaryeva,

A.A. Sokolova, S.V. Taranov

ALGORITHM FOR ENSURING THE INTEGRITY OF  
INFORMATION WITH THE POSSIBILITY OF  
DETECTING ALGEBRAIC MANIPULATIONS BASED ON  
LOW DENSITY PARITY CHECK CODES*Keywords: information security, integrity algorithms, LDPC codes, AMD codes, algebraic manipulations, data storage systems.*

*A new cascade construction with the ability to detect algebraic manipulations based on codes with low density parity checks is proposed. A qualitative assessment of the characteristics of the code constructions included in the proposed integrity security algorithm is carried out, based on the bounds of the error masking probability. A functional model of the protected storage device with indication of the input and output data for each element of construction has been built. Application of the proposed code construction will reduce the number of undetectable errors and reduce the likelihood of attacks based on algebraic manipulations.*

Г. Ряскин, А.Н. Полубарьева, С.В. Таранов

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ КОДОВ  
С РАЗРЕЖЕННЫМИ МАТРИЦАМИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
ОТ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ*Ключевые слова: надежные коды, AMD коды, LDPC коды, бент функции.*

*В данной статье представлены новые кодовые конструкции на основе разреженных проверочных матриц. Исследуются возможности применения предлагаемых конструкций для защиты от алгебраических манипуляций. Разработанные схемы кодирования основаны на бент функциях могут быть использованы для защиты от различных типов алгебраических манипуляций, в том числе при неравномерном распределении входных кодовых слов.*

G. Ryaskin, A.N. Polubaryeva, S.V. Taranov

METHOD OF APPLICATION OF CODES WITH SPARSE  
CHECK MATRICES FOR PROTECTION AGAINST  
ALGEBRAIC MANIPULATIONS*Keywords: robust codes, Boolean functions, AMD codes, LDPC codes, bent functions.*

*This article presents new code constructions based on sparse check matrices. The possibilities of using the proposed constructions for protection against algebraic manipulations are investigated. The developed coding schemes based on bent functions can be used to protect against various types of algebraic manipulations including cases with a non-uniform distribution of input codewords.*

## **Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью**

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

## **Договор публичной оферты по обработке персональных данных**

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья", ООО "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ

№2 2022

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ  
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ  
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
(физико-математические науки)**

[www.ntvprrt.ru](http://www.ntvprrt.ru)

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732

Подписано в печать 27.02.2022      Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 27.02.2022

7,4 усл.печ.л. 9,1 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 3970.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Адрес редакции, издательства, типографии – ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Цена свободная.

© Рашин Сайнс

тел. (843) 216-30-35

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Рашин Сайнс»