

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВПО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Итоговая научная конференция

2015 года

Сборник докладов

Часть 1

Набережные Челны
2015

УДК 378:001 (063)

ББК 74.484.7 (2Рос.Тат.-2НабережныеЧелны)я431НЧИ

И 93

Итоговая научная конференция: (2015; Набережные Челны). В 3–х ч. Часть 1. Итоговая науч. конф. проф.-препод. состава, 13 февраля 2015 г. [Текст]: сб-к докладов / ред. кол. **Хабибуллин Р.Г.** [и др.]; под ред. д-ра техн. наук **Л.А. Симоновой.** - Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Набережночелнинского института К(П)ФУ, 2015. – 269с.

Данный сборник содержит статьи преподавателей, принявших участие в Итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава Набережночелнинского института КФУ, состоявшейся 13 февраля 2015 года. Тематика статей охватывает широкий круг вопросов в области технических, экономических и гуманитарных наук.

Ответственный редактор

доктор технических наук, профессор
Л.А. Симонова

Ответственный секретарь

Г.Р. Шаяхметова

Члены редколлегии:

Хабибуллин Р.Г.
Исрафилов И.Х.
Галеев Р.Р.
Туманов Д.Ю.
Махмутов И.И.
Каюмов А.Т.

– доктор технических наук, профессор;
– доктор технических наук, профессор;
– кандидат технических наук, доцент;
– кандидат юридических наук, доцент;
– кандидат экономических наук, доцент;
– доктор философских наук, профессор.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СЕКЦИЯ «РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ОБРАБОТКИ»

Абызов А.П.,

канд. техн. наук, профессор,

Хисамутдинов Р.М.,

канд. техн. наук, доцент

Особенности расчета предельных нагрузок сварных соединений с трещинами

В общем случае отдельные участки сварных соединений конструкций машин могут иметь различные характеристики механических свойств и трещиностойкости, причем последнее можно оценить по параметру трещиностойкости α_{mp} [1] (механическая неоднородность). Стыковые сварные соединения с различными видами трещин показаны на рис.1.

Для оценки механической неоднородности примем следующие коэффициенты:

$K_B^{(ш)} = \frac{\sigma_B^{(ш)}}{\sigma_B^{(ОМ)}}$ - коэффициент оценки неоднородности материала шва;

$K_B^{(ЗТВ)} = \frac{\sigma_B^{(ЗТВ)}}{\sigma_B^{(ОМ)}}$ - коэффициент оценки зоны термического влияния;

$\varphi_\alpha^{(ш)} = \frac{\alpha_{тр}^{(ш)}}{\alpha_{тр}^{(ОМ)}}$ и $\varphi_\alpha^{(ЗТВ)} = \frac{\alpha_{тр}^{(ЗТВ)}}{\alpha_{тр}^{(ОМ)}}$ - величины, оценивающие различие

коэффициентов трещиностойкости $\alpha_{тр}$ [1] материалов шва и зоны термического влияния.

Значения механических характеристик $\sigma_B^{(ш)}$, $\sigma_B^{(ЗТВ)}$, $\sigma_B^{(ОМ)}$ а также $\alpha_{тр}^{(ш)}$, $\alpha_{тр}^{(ЗТВ)}$, $\alpha_{тр}^{(ОМ)}$ определяются в соответствии с положениями, разработанными в [1,2].

Из вышеприведенных формул следует, что при значениях коэффициентов $K_B^{(ш)}$ и $K_B^{(ЗТВ)}$ больше единицы сварной шов усиливает, в сравнении с однородным металлом, конструкцию и, наоборот, при значениях меньше единицы – ослабляет.

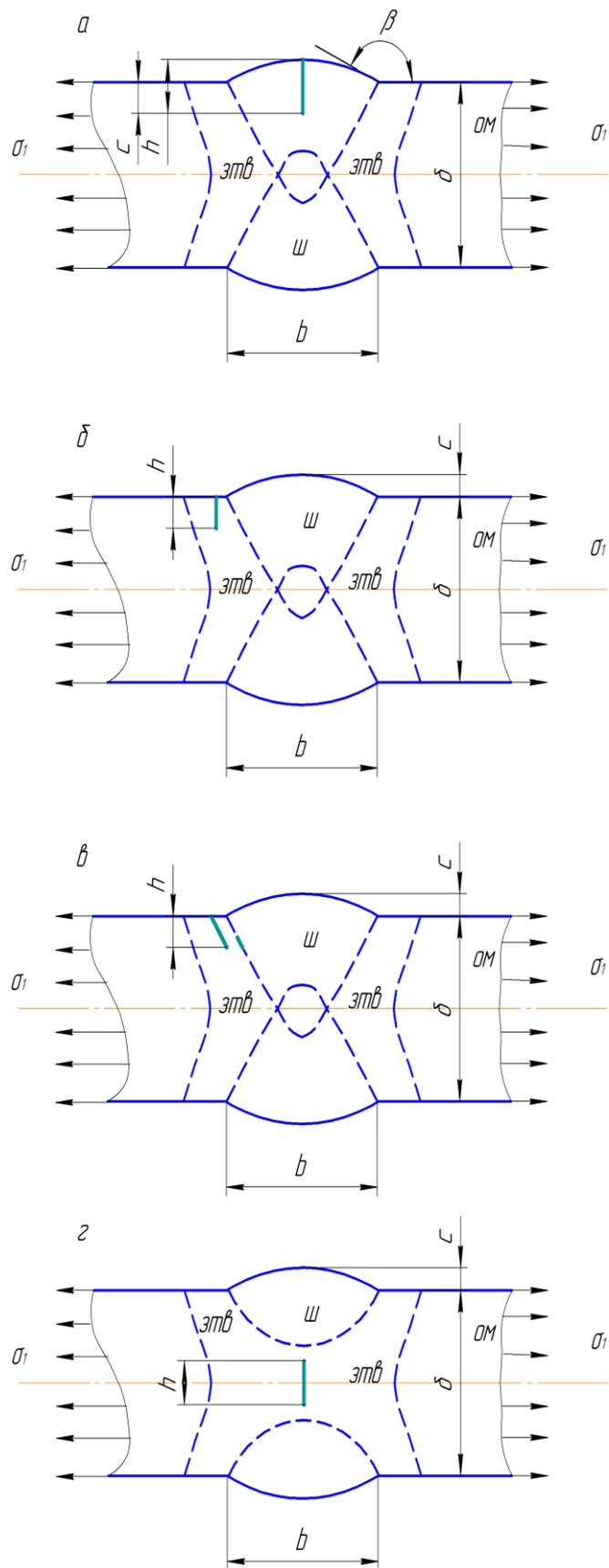


Рис. 1. Трещины в сварных двухсторонних стыковых соединениях:

ЗТВ - зона термического влияния; Ш - шов; OM - основной металл; h - размер трещины; b - ширина шва; c - высота усиления шва; δ - толщина конструкции

Рассмотрим конструкцию соединения, у которого величина $C=0$ (снятое усиление). При расположении трещины в сварном шве (рис.1а, 1в) разрушающее напряжение σ_{1C} , с учетом механической неоднородности и в предположении, что

$$\alpha_{TP} = \alpha^{(OM)}, \sigma_B = \sigma_B^{(OM)}$$

$$\sigma_{1C} = \varphi_{\alpha}^{(ш)} \alpha_{TP} K_h K_t K_{\phi} K_{\gamma} K_B^{(ш)} \sigma_B,$$

где $K_h K_t K_{\phi} K_{\gamma}$ - коэффициенты, учитывающие параметры трещин в материале конструкции и подробно рассмотренные в [1].

При расположении трещины в зоне термического влияния (рис.1б,1г) $\sigma_{1C} = \varphi_{\alpha}^{(ЗТВ)} \alpha_{TP} K_h K_t K_{\phi} K_{\gamma} K_B^{(ш)} K_B^{(ЗТВ)} \sigma_B$.

Коэффициент ослабления элемента трещиной

$$K_h = 1 - \bar{h},$$

где $\bar{h} = \frac{h}{(\delta + 2c)}$. Отметим, что учет усиления шва ($c=0$) обусловит

создание запаса прочности.

Трещины в сварных односторонних стыковых соединениях представлены на рис 2, разрушающее напряжение находится аналогично.

Наряду с механической неоднородностью в конструкциях сварных соединений возникает геометрическая неоднородность типа смещения кромок (рис. 3).

Для оценки влияния на несущую способность сварных соединений при смещении кромок введем следующие обозначения:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{\delta}; \quad b = \frac{b}{\delta}.$$

По найденному значению σ_{1C} определяется предельной усилие, воспринимаемое сварной конструкцией.

В практических случаях сварных соединений со смещением кромок

$\bar{b} \geq m \bar{\Delta}$, где $m=4$, $m=8$ константа для односторонних и двухсторонних швов соответственно.

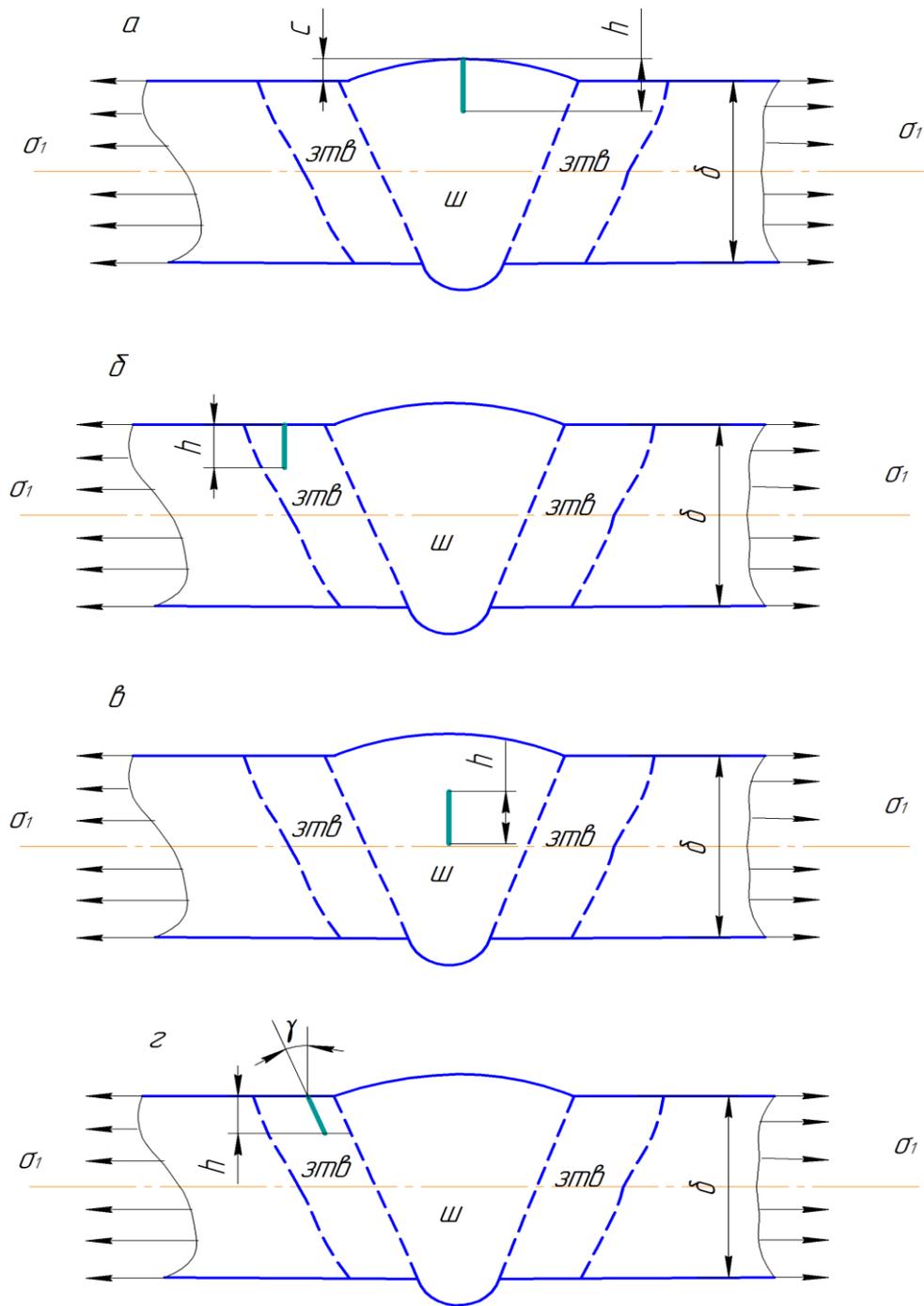


Рис. 2. Трещины в односторонних стыковых соединениях

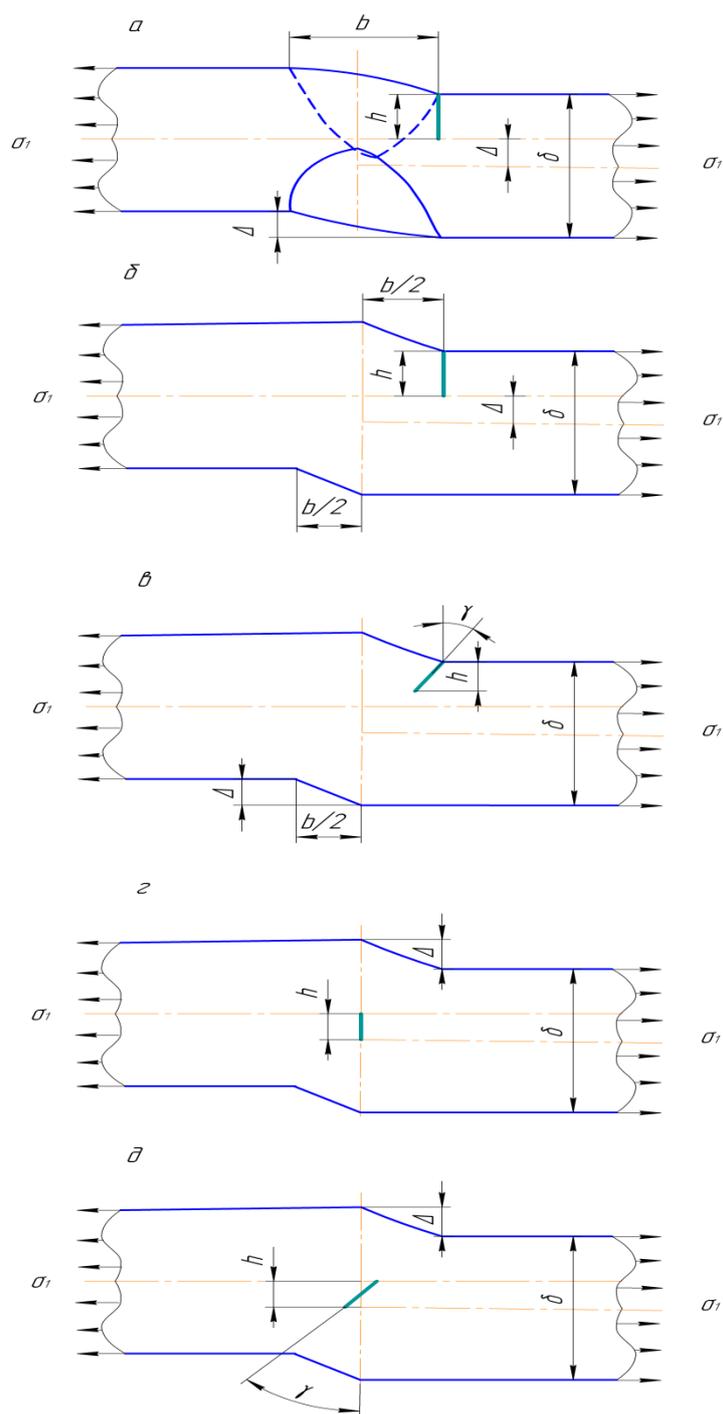


Рис. 3. Трещины в сварных двухсторонних стыковых соединениях со смещением кромок:

Δ - величина смещения, γ - угол наклона трещины

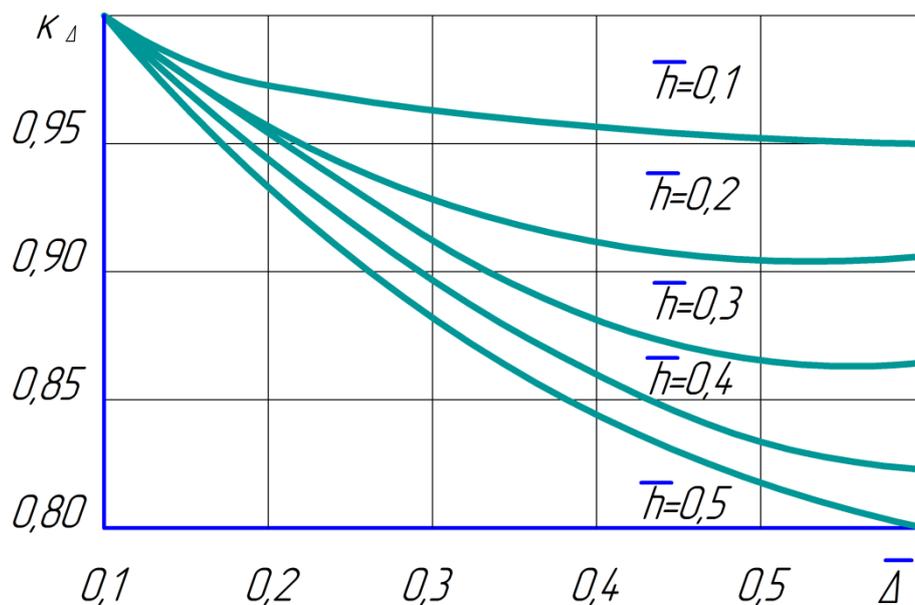


Рис. 4. Зависимость K_{Δ} от $\bar{\Delta}$ и \bar{h}

Параметр K_{Δ} , учитывающий ослабление сечения при смещении кромок, можно определить по соотношению $K_{\Delta} = \frac{1}{(1 + \bar{\Delta}\bar{h})}$, причем $\bar{h} = \frac{h}{\delta}$.

Численное значение K_{Δ} приведено на рис.4.

Разрушающее напряжение в сварном шве при смещении кромок (см.рис. 3) определится по соотношению:

$$\sigma_{1C} = \varphi_{\alpha}^{(ш)} \alpha_{ТР} K_{\Delta} K_1 K_{\phi} K_{\gamma} K_B^{(ш)} \sigma_B,$$

где коэффициенты K_1 K_{ϕ} K_{γ} , учитывающие параметры трещин, определяются так же, как для сварных соединений без смещения кромок.

На основе вышеприведенных формул относительная прочность $\varphi_C = \frac{\sigma_{1C}}{\sigma_B}$ сварной конструкции со смещением кромок $\bar{\Delta} \geq 0$ (принимая

$\alpha_{ТР} = 1$, а значения относительного направления трещины $\bar{\phi} = 0, \bar{\gamma} = 0$) уменьшается с ростом размеров центральной трещины \bar{h} (рис.5).

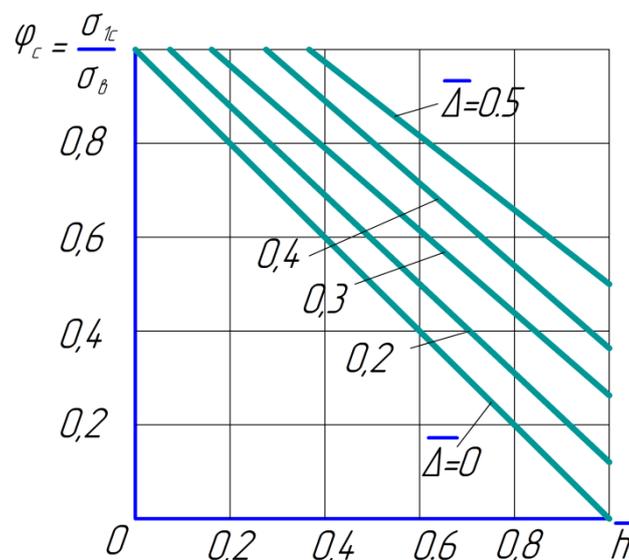


Рис. 5. Зависимость относительной прочности $\varphi_c = \frac{\sigma_{1c}}{\sigma_b}$ сварного соединения от относительного размера центральной трещины при различных смещениях кромок конструкции

Литература

1. Абызов А.П., Тарабарин О.И. Определение несущей способности конструктивных элементов деталей машин с учетом поверхностных дефектов в виде трещин//Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – №2 – С. 58-63.

2. Зайнуллин Р.С., Тарабарин О.И., Щепин Л.С. Определение допустимых смещений кромок и ресурса стыковых сварных соединений конструктивных элементов нефтепроводов: метод. рекомендации МР-12, согласованные Госгортехнадзором РФ). – Уфа: ИПТЭР, 2008. – 16с.

Габдрахманов А.Т.,
канд. техн. наук, доцент,
Самигуллин А.Д.,
ст. преподаватель

Исследование влияния потока холодной плазмы на различные патогены

Разработка и появление на рынке новых медицинских материалов на основе различных полимеров требует быстрых, дешевых и безопасных

методов их стерилизации. Традиционные способы стерилизации [1], например, хлорирование, часто оказываются вредными как для человека, так и для окружающей среды. Еще один способ – озонирование – также не идеален. Кроме того, что он дорогой, его побочные продукты – альдегиды (формальдегиды) и кетоны также представляют опасность для атмосферы Земли. Во время обработки холодной плазмой образуется широкий спектр экологически безопасных частиц (свободные радикалы O и OH, озон, окислы азота, ультрафиолет и пр.), которые разрушают биологические опасные загрязнители – патогенные микроорганизмы и химические токсиканты.

С целью получения холодной плазмы был разработан и исследован генератор холодной плазмы для стерилизации и дезинфекции различных поверхностей [2,3].

Были проведены экспериментальные исследования влияния межэлектродного зазора l на параметры плазмы [3]. В зависимости от межэлектродного зазора l меняется характер разряда, и тем самым изменяется эффективность взаимодействия разряда и плазмообразующего газа. Результаты этих исследований показаны на рисунке 1.

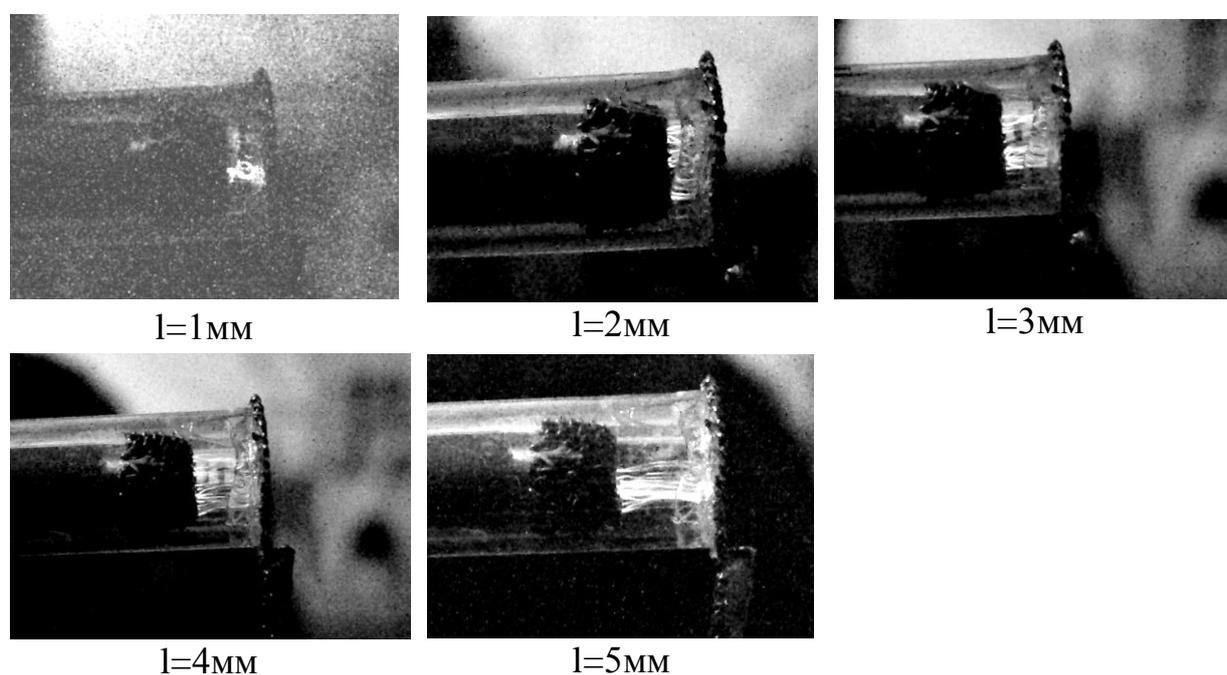


Рис. 1. Фотографии горения разряда при различных зазорах

Из рисунка видно, что наиболее эффективным является межэлектродный зазор $l=4$ мм. При данном зазоре разряд охватывает практически всю поверхность электродов, тем самым достигается

максимальная ионизация плазмообразующего газа и растет стерилизующее свойство плазмы.

Одним из основных требований, предъявляемых к холодной плазме для стерилизации и дезинфекции, является сохранения живых тканей, что возможно при температуре до $+50^{\circ}\text{C}$. Для этой цели были проведены измерения температуры плазмы на выходе из устройства, результаты исследований представлены на рисунке 2.

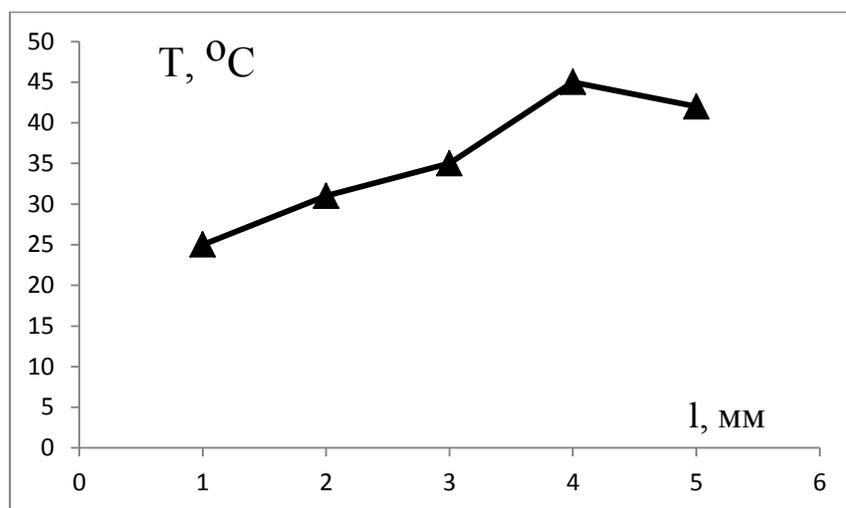


Рис. 2. Изменение температуры холодной плазмы от зазора

Начальная температура плазмообразующего газа во всех случаях составляла $+20^{\circ}\text{C}$, расход газа (воздуха) $G=100\text{л/час}$. Температура плазмы на выходе не превышает $+45^{\circ}\text{C}$.

Для оценки эффективности стерилизации генератора холодной плазмы производилась обработка холодной плазмы различных поверхностей (тест-объектов).

Первым этапом подготовки поверхности для обработки является заражение двухмиллиардной взвесью тест-объектов микробами культур стафилококка золотистого и кишечной палочки.

После подготовки тест-объектов производится обработка зараженной микробами поверхности потоком холодной плазмы. Тест-объекты обрабатывали с двух сторон, поворачивая их стерилизованным пинцетом. Длительность воздействия на поверхность тест-объектов того или иного вида микробов составляла 1, 1,5 и 2 минуты соответственно.

После обработки тест-объекты помещались в пробирку с физраствором на 10 минут, чтобы все выжившие микроорганизмы перешли в жидкость. Затем производится посев по 0,1 мл взвеси в

специальные среды (для кишечной палочки – питательный агар и среда Эндо, для стафилококка золотистого – питательный агар и желточно-солевой агар). Так же для контроля эксперимента были подготовлены контрольные образцы. Обработанные и контрольные образцы поместили в термостат для инкубации, на 24 часа микроорганизмы кишечной палочки и на 48 часов, стафилококка золотистого (при температуре 37°C). Результаты эксперимента приведены на рисунке 3, 4.

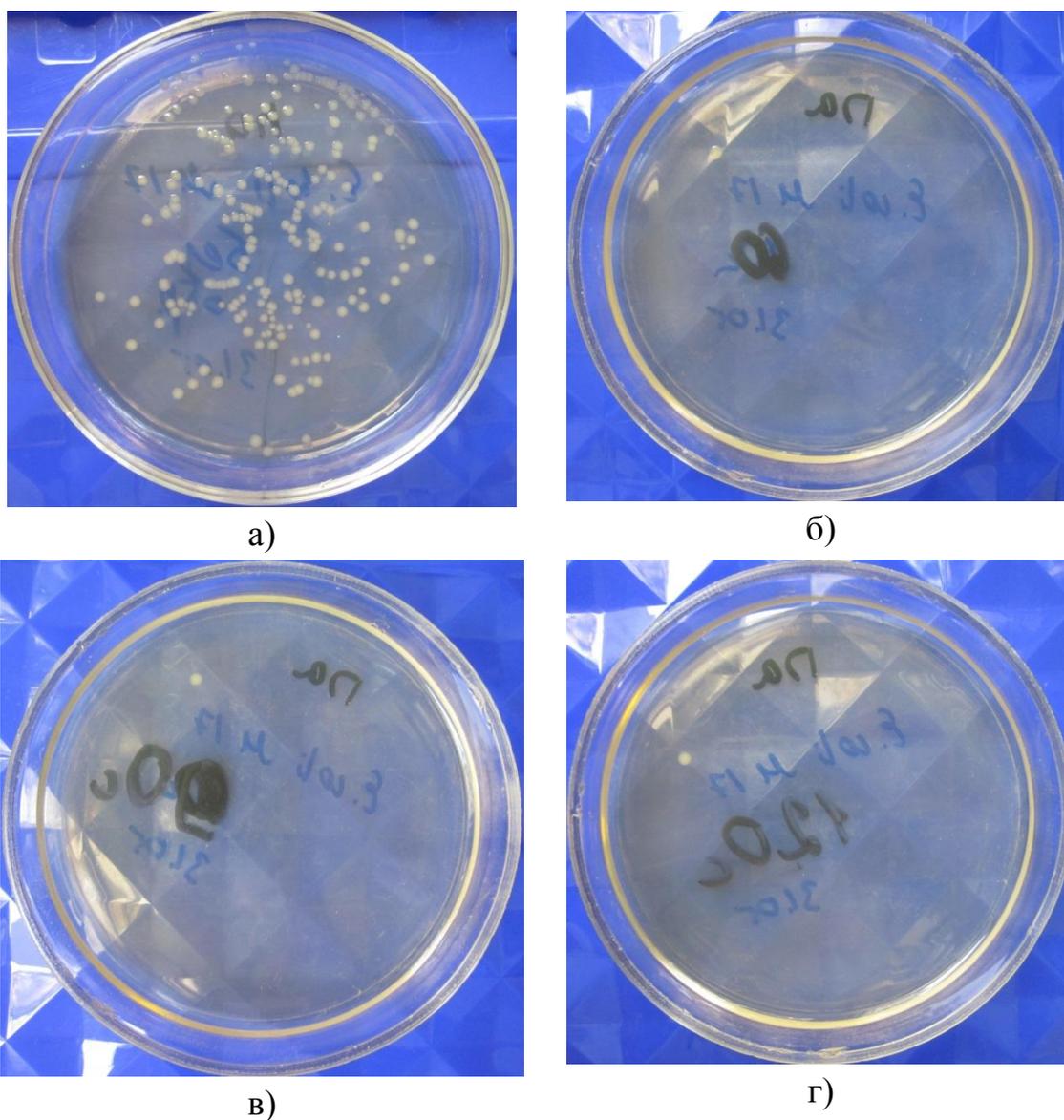


Рис. 3. Образцы бактерий культуры кишечной палочки, инкубированных в питательном агаре после плазменной обработки: а) контрольный образец без обработки; б) образец после обработки 60 секунд; в) образец после обработки 90 секунд; г) образец после обработки 120 секунд

Так как кишечная палочка является полупатогенным вирусом (менее стойкая культура бактерий к различным видам стерилизации),

длительность обработки в 60 секунд достаточно, чтобы привести к инаktivации более 99% колоний.

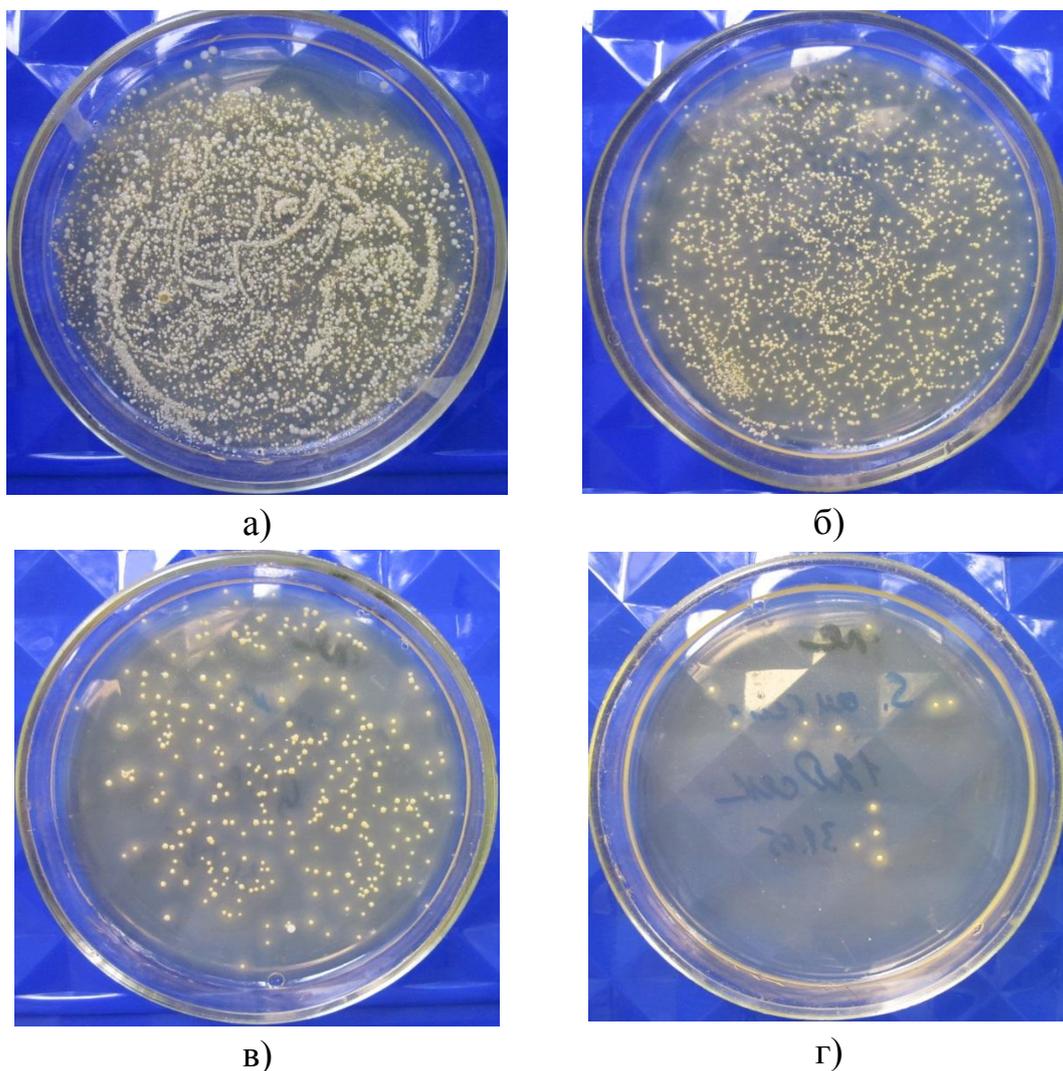


Рис. 4. Образцы бактерий стафилококка золотистого, инкубированных в желточно-солевом агаре после плазменной обработки: а) контрольный образец без обработки; б) образец после обработки 60 секунд; в) образец после обработки 90 секунд; г) образец после обработки 120 секунд

Так как стафилококк золотистый является патогенным вирусом, то длительности воздействия 60 секунд не достаточно, чтобы добиться высоких результатов инаktivации. При увеличивая длительности обработки тест-объекта достигается высокая эффективность воздействия.

В результате исследований было выявлено, что холодная плазма является эффективным средством для инаktivации микроорганизмов и уничтожает, в зависимости от времени воздействия (рисунок 3, 4), до 99,3% бактерий.

Несмотря на прогресс, достигнутый в испытаниях лабораторного масштаба, обработка холодной плазмой при атмосферном давлении еще не получила широкого практического распространения. С нашей точки зрения, новые источники холодной плазмы при атмосферном давлении могут найти широкое применение в медицине, в защите промышленных материалов от биоповреждений и биокоррозии, дезинфекции пищевых продуктов и продовольственного сырья, обработке тканей, почтовых конвертов, полимерных пленок, пластиковых карточек и других областях.

Литература

1. Дезинфекция и стерилизация в лечебно-профилактических учреждениях/ В.В. Шкарин, А.Н. Арзяева. – М.: НГМА, 2001. –120с.
2. Плазменная стерилизация поверхностей / А.Т. Габдрахманов, И.Х. Исрафилов, А.Д. Самигуллин, Г.А. Масалимова// Плазменные технологии исследования, модификации и получения материалов различной физической природы: сборник материалов междунар. науч. конференции. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. – С. 364.
3. Study generator of a cold plasma for sterilization / А.Т. Габдрахманов, И.Х. Исрафилов, А.Т. Галиакбаров // Contemporary engineering sciences, Vol. 7, 2014, no. 17–20, p. 973-978.

Головко А.Н.,
ст. преподаватель,
Головко И.В.,
Юрасов С.Ю.,
канд. техн. наук, доцент

Расчет погрешности профиля зуба долбяка при модифицированном обкаточном движении

Высокая точность обработки зубчатых колес может быть обеспечена на основе численного моделирования режущих кромок зуборезного долбяка.

При выполнении численного моделирования [1] необходимо на первом этапе рассмотреть формирование задней поверхности зуба долбяка в процессе ее окончательной обработки на зубошлифовальном станке SRS400 фирмы “Hurth” шлифовальным кругом тарельчатого типа. Эту

процедуру целесообразно выполнить на основе универсальной схемы, рассмотренной в работе [2].

При наличии модифицированного обкаточного движения (позволяет впоследствии уменьшить величину подрезания ножки зуба шестерни при обработке долбяком) или правке круга по копиру профиль зуба долбяка в торцовом сечении будет иметь отклонения от эвольвентного профиля.

Это отклонение f_{frL} определится из выражения (рис. 1):

$$f_{frL} = LN - MN$$

Отрезок LN можно рассчитать по формуле:

$$LN = \sqrt{r_{2f}^2 - r_{b2}^2}$$

Расстояние от точки M до точки N определится из выражения:

$$MN = r_{b2} \nu_M$$

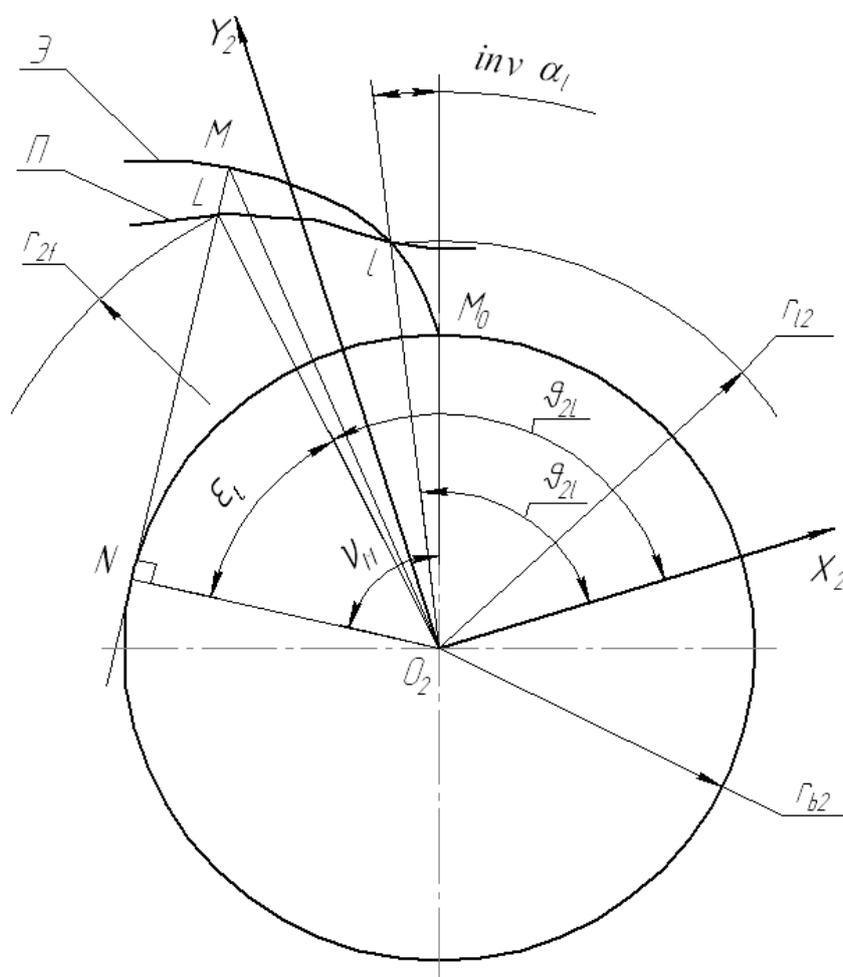


Рис. 1. Схема расчета погрешности профиля зуба долбяка

Рассчитав f_{frL} для ряда значений r_{2f} от радиуса граничной точки профиля до радиуса окружности выступов долбяка в текущем торцевом сечении, следует выбрать максимальное ее значение $f_{fr \max}$ и минимальное значение $f_{fr \min}$ (с учетом знака). Итоговое значение погрешности профиля зуба определится как:

$$f_{fr} = f_{fr \max} - f_{fr \min} .$$

Литература

1. Повышение точности производящих поверхностей формообразующих инструментов/ Ф.С. Юнусов, Р.М. Хисамутдинов. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2008. – 212 с.

2. Моделирование формирования задней поверхности зубьев долбяков шлифованием / Ф.С. Юнусов, Н.В. Сморкалов, Р.М. Хисамутдинов, А.Н. Головки // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2004. – № 1. – С. 9-13.

Елакова А.А.,

канд. экон. наук, доцент,

Юрасов С.Ю.,

канд. техн. наук, доцент

Особенности управленческого учета технологической оснастки

Финансовый результат деятельности предприятия во многом зависит от правильно выбранной стратегии управления себестоимостью. Модели, основанные на изучении взаимоотношения затрат, объема производства и прибыли, дают возможность руководителям предприятия планировать и прогнозировать деятельность фирмы [2, с.147].

Опыт развития индустриальных стран показывает, что в современном обществе управляемость экономикой и ее эффективность зависят не только от системы стимулов и частных интересов, но и от информационной обеспеченности принимаемых решений как на уровне производства, так и управления.

Управленческий учет, объединяя планирование и принятие управленческих решений, преимущественно направлен на будущее. Точность информации хоть и служит для определения тенденций, заменяется субъективными оценками будущих событий.

Управленческий учет по своей природе не имеет единого сходного равенства. Его структура определена тремя преобладающими видами объектов: доходы, издержки, активы. Любая система управленческого учета оперирует понятиями: учет полной себестоимости, дифференцированный учет, учет по центрам ответственности.

Ежедневный контроль осуществляет руководитель низшего звена управления. Для этого ему необходима детализированная аналитическая информация, которая формируется в управленческом учете по центрам ответственности [3, с. 110].

Учет технологической оснастки в организациях ведется с применением разнообразных учетных регистров (книги, карточки, ведомости), записи в которых делаются в разной последовательности. Регистрация осуществляется как ручным, так и автоматизированным способом. Сочетание учетных регистров, структура и взаимосвязь, способы записей определяют применяемую форму учета.

Управленческий учет охватывает все виды учетной информации, используемой для управления в пределах самой организации. Частью общей сферы управленческого учета является производственный учет, под которым обычно понимают учет издержек на производство технологической оснастки и анализ экономии или перерасхода по сравнению с предыдущими периодами, нормами, сметами, планом. Основной целью управленческого учета является обеспечение учетной информацией менеджеров, ответственных за достижение конкретных производственных показателей.

Движение управленческой информации происходит в следующей последовательности:

1. Факты хозяйственной деятельности организации.
2. Первичные документы.
3. Учетные регистры.
4. Внутренняя оперативная информация.
5. Отчет для менеджеров.
6. Принятие решения менеджерами [4].

Мы полагаем, что данная последовательность имела бы более содержательный вид при включении в данную схему главной книги.

Для разработки учетных форм необходимо рассмотреть следующие условия:

- наличие согласованного между технологическими, производственными и экономическими службами предприятия перечня показателей, которые должны быть отражены в сводном учете на различных уровнях управления;

- понимание влияния улучшенной системы производства на его эффективность;

- открытость информации о деятельности подразделений для технологических и производственных служб, использование информации пользователями для управления производством и себестоимостью продукции.

Форма представления информации является одним из важнейших аспектов управленческой отчетности. Наглядность и простота понимания информации не столько позволяют снизить время, необходимое для работы с информацией и принятия на ее основе решений, но позволяют добиться более адекватного понимания потребителем информации ее смысла. Наиболее типичными формами представления информации являются текстовая, табличная и графическая.

Когда информации слишком много, ее понимание также затруднено. Чтобы облегчить понимание больших объемов информации, которая содержит много параметров с различными характеристиками, эти параметры группируются по определенным признакам и представляются в отдельных таблицах или на отдельных графиках. Руководству предприятия необходим анализ определения наиболее удобного для него представления информации и сочетания различных параметров [1].

Наиболее трудной для интерпретации руководством является плохо структурированная информация. Плохо структурированными могут быть как текст, так и таблицы и даже графики. Хорошо структурированная информация должна отвечать принципам:

- понятность – данные, содержащиеся в отчетности, должны быть легко интерпретируемыми;

- сопоставимость – данные о деятельности предприятий должны быть сопоставимы с аналогичной информацией предшествующих периодов и с данными о деятельности других предприятий;

- возможности проверки – данные об операциях или событиях, содержащиеся в публичной отчетности, могут быть проверены независимыми аудиторами;

- своевременность – доступ к информации при возникновении потребности у пользователя;

- прогнозной ценности, которая заключается в изучении финансовых показателей хозяйственной деятельности организации для определения их возможных значений в будущем [1].

Многие руководители предприятий находятся в схожем положении. Для получения информации, необходимой им для анализа бизнеса и принятия решений, они пробираются через графы разрозненных цифр, в поисках того, что необходимо. В этой ситуации четко структурированная отчетность является основным атрибутом принятия качественных управленческих решений.

Структурированная информация обладает внутренней логикой: она имеет иерархию по степени важности, показывает градации и взаимосвязь различных параметров и выстроена таким образом, чтобы дать ее потребителю максимально полное представление о том предмете, который эта информация описывает. Уровень детализации информации зависит от потребностей управленца, который будет с этой информацией работать.

Специалисты по управленческому учету должны не только обеспечить менеджмент необходимыми данными к заданному сроку, но и помочь в их использовании для управления. Делается это обычно на основе регламентных графиков. Одновременно необходимо позаботиться о том, чтобы текущая отчетность для руководителей подразделений была представлена так, чтобы в ней можно было разобраться без особых усилий. Важно также, чтобы внутренняя отчетность была регулярной, т.е. повторяемой во времени.

Формы отчетности для анализа использования технологической оснастки помогают использовать информацию о технологической оснастке для того, чтобы помочь лицам, принимающим решения, оценить, достигает ли организация своих целей, помогает оценить влияние конкретных действий на снижение (увеличение) издержек. Зная это, они смогут снизить фактические издержки за счет принятия корректирующих действий.

Данные хорошо организованного управленческого учета позволяют выявить области наибольшего риска, узкие места в деятельности организации, малоэффективные или убыточные виды продукции и услуг, места и способы их реализации. Они используются для определения наиболее выгодного для данных условий ассортимента продукции и работ, цен и тарифов их продажи, пределов скидок при разных условиях сбыта и платежа, для оценки эффективности дополнительных издержек и

рациональности капитальных вложений. Только по данным управленческого учета можно выбрать оптимальный вариант решения задач типа: «производить самим или покупать», «в каком количестве выгодно купить и продать», «на каком оборудовании следует разместить заказ», «в каких случаях ремонт оборудования лучше покупки новых машин».

Литература

1. Битунов В.В., Удлер Е.М., Яковенко Е.Г. Технологическая оснащенность производства машин. – М.: Машиностроение, 1976. – 151 с.
2. Зайцев Н. И. Экономика промышленного предприятия: учеб. пособие. – М., 2012. – 280 с.
3. Карпова Т.П. Основы управленческого учета: учеб. пособие. – М.: 2011. – 393с.
4. Хмелев С.А. Управленческий учет на предприятиях автомобилестроения. – М.: X NOTA BENE, 2007. –121 с.

Звездин В.В.,

д-р техн. наук, доцент,

Набиуллина Г.И.,

ассистент

Моделирование процессов лазерной термообработки

Одним из методов повышения показателей качества технологического процесса термообработки деталей машиностроения является использование высококонцентрированных источников энергии. К ним относится поверхностная лазерная термообработка. При этом необходимо достижение заданных показателей качества термообработки. Данные показатели (глубина упроченной зоны, микротвердость, шероховатость поверхности, микроструктура, химический состав зоны термического воздействия и т.п.) зависят от параметров лазерного технологического комплекса [1 - 3].

Как показывают экспериментальные исследования, получение зависимостей показателей качества технологического процесса от параметров лазерного технологического комплекса носит трудоемкий и долговременный характер. Поэтому имитационное моделирование по

известным физическим законам и экспериментальным данным является актуальным [4, 5].

В данной работе ставится задача воспроизводимости требуемых параметров лазерного технологического комплекса за счет имитационного моделирования известных экспериментальных зависимостей от заданных показателей качества технологического процесса [6], для чего используется статистическая обработка экспериментальных данных показателей качества технологического процесса [7, 8].

При измерении микротвердости (H_μ) термообрабатываемых деталей на фиксированной глубине с заданными технологическими параметрами были получены различные значения микротвердости. Эти параметры изменяются при повторных опытах заранее непредсказуемым образом. Однако можно определить вероятность попадания измеренного значения микротвердости в заданную область допустимых значений

$$p_m = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_m}{N}, \quad (1)$$

где N_m – количество наблюдений случайной величины, в заданной области допустимых значений; N – общее число наблюдений (частотное наблюдение вероятности).

Используем интегральную функцию распределения $F(H_\mu)$ случайной величины $\overline{H_\mu}$, показывающей, что случайная величина не превышает некоторого заданного или текущего значения H_μ , то есть

$$F(H_\mu) = p\{\overline{H_\mu} \leq H_\mu\}. \quad (2)$$

Следовательно, вероятность того, что значение случайной величины заключенное между $H_{\mu 1}$ и $H_{\mu 2}$, равно разности значений функции распределения, вычисленных в этих двух точках

$$p\{H_{\mu 1} \leq \overline{H_\mu} \leq H_{\mu 2}\} = F(H_{\mu 2}) - F(H_{\mu 1}) \quad . \quad (3)$$

Предполагаем, что закон распределения исследуемой совокупности данных является нормальным (Гаусса), с плотностью вероятности

$$f(H_\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{H_\mu}} e^{-\frac{(H_\mu - m_{H_\mu})^2}{2\sigma_{H_\mu}^2}}, \quad (4)$$

где m_{H_μ} – математическое ожидание; $\sigma_{H_\mu}^2$ – дисперсия случайной величины H_μ .

Определение оценок математического ожидания $\overline{H_\mu}$, дисперсии $(S_{H_\mu})^2$ и среднеквадратичного отклонения S_{H_μ} производим по формулам:

$$\overline{H_\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_{\mu_i}, \quad (5)$$

$$S_{H_\mu}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_{\mu_i} - \overline{H_\mu})^2. \quad (6)$$

Определим объем N выборки, такой чтобы при фиксированной доверительной вероятности (p) достигалась заданная точность оценивания микротвердости. В качестве характеристики этой точности используем относительную величину ε

$$\varepsilon = L/2\sigma_{H_\mu}, \quad (7)$$

где L – ширина доверительного интервала

$$L = l_1 - l_2 = 2u_{\alpha=q/2} \frac{\sigma_{H_\mu}}{\sqrt{N}}, \quad (8)$$

q – уровень значимости; u_α – нормированное нормальное распределение или U - распределение.

Задаваясь предельно допустимой относительной погрешностью $\varepsilon_{\text{доп}}$, имеем

$$N \geq \left(\frac{U_{\alpha=q/2}}{\varepsilon_{\text{доп}}} \right)^2. \quad (9)$$

Определим количество измерений N , чтобы при фиксированной доверительной вероятности $p = 0,95$ достигалась точность $\varepsilon_{\text{доп}} = 0,5$.

Из выражения (9) $N = 19,2$. Округляя, получаем, что необходимо провести 20 замеров микротвердости на заданной глубине.

Для каждой глубины получим набор экспериментальных данных H_{μ_1} , H_{μ_2} , $H_{\mu_{10}}$. Используя формулу (6), определяем среднее значение микротвердости и среднеквадратичное отклонение на каждой глубине, для заданных технологических параметров.

Находим процентные точки t -распределения Стьюдента $t = (p, n - 2)$ для $p = 0,95$ и $p = 0,9$.

Вычисляем:

$$\tau_{(5\%, n-2)} = \frac{t_{(5\%, n-2)} \sqrt{n-2}}{\sqrt{(n-2) + |t_{(5\%, n-2)}|^2}}, \quad (10)$$

$$\tau_{(0.1\%, n-2)} = \frac{t_{(0.1\%, n-2)} \sqrt{n-2}}{\sqrt{(n-2) + |t_{(0.1\%, n-2)}|^2}}. \quad (11)$$

Сравниваем вычисленные значения

$$t_{(5\%, n)} \leq \tau \leq t_{(0.1\%, n)}. \quad (12)$$

Если не выполняется условие (12), следует, что это грубая погрешность при расчете. Для повышения точности измерения отбрасываем полученное значение отклонения и вновь вычисляем \overline{H}_μ , S_{H_μ} . Повторяем эту процедуру до следующего по величине абсолютного отклонения, пока оно не войдет в заданный интервал (12).

Аппроксимация экспериментальных зависимостей показателей качества ТП термообработки от параметров ЛТК производится методом наименьших квадратов с использованием полинома третьей степени

$$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d. \quad (13)$$

Метод позволяет использовать аппроксимирующие функции произвольного вида и относится к группе глобальных методов.

Критерием близости в методе наименьших квадратов является требование минимальности суммы квадратов отклонений от аппроксимирующей функции до экспериментальных точек

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \rightarrow \min. \quad (14)$$

Таким образом, не требуется, чтобы аппроксимирующая функция проходила через все заданные точки.

Важной особенностью метода является то, что аппроксимирующая функция может быть произвольной. Четыре константы a , b , c и d при их различных знаках и числовых значениях могут образовывать множество сочетаний и придать уравнению (13) универсальность и широкие возможности применения для аппроксимации различного вида графиков.

Неизвестными параметрами в этой задаче являются коэффициенты a , b , c и d аппроксимирующей функции. Запишем указанный выше функционал (14) для заданной аппроксимирующей функции

$$\Phi = \sum_{i=1}^N (f(X_i) - Y_i)^2 = \sum_{i=1}^N (aX_i^3 + bX_i^2 + cX_i + d - Y_i)^2 \rightarrow \min, \quad (15)$$

где X_i, Y_i – экспериментальные данные.

Из математического анализа известно, что минимум функционала достигается при равенстве нулю всех его частных производных по независимым переменным. Запишем условие минимума нашего функционала

$$\frac{\partial \Phi}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial c} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial d} = 0. \quad (16)$$

Подставляем выражение функционала Φ и, вычисляя производные, получим систему из четырёх уравнений для четырёх неизвестных, из которой можно записать выражения для искомых коэффициентов (a, b, c, d):

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N 2(aX_i^3 + bX_i^2 + cX_i + d - Y_i)X_i^3 &= 0, \\ \sum_{i=1}^N 2(aX_i^3 + bX_i^2 + cX_i + d - Y_i)X_i^2 &= 0, \\ \sum_{i=1}^N 2(aX_i^3 + bX_i^2 + cX_i + d - Y_i)X &= 0, \\ \sum_{i=1}^N 2(aX_i^3 + bX_i^2 + cX_i + d - Y_i)1 &= 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Исходные данные для аппроксимации получены на основе проведенных металлографических исследований (табл. 1).

Таблица 1

Результаты металлографических исследований микротвердости на различных глубинах термообрабатываемых деталей при различной скорости перемещения лазерного луча и плотности мощности лазерного излучения

Глубина, мм	Скорость, мм/мин			
	1120	560	1120	1120
	Твёрдость HV ₅₀			
	Для плотности мощности лазерного излучения $2 \cdot 10^6$ Вт/м ²			
0	1150	1200	1030	810

0,025	1090	1195	1020	830
0,05	1050	1190	995	840
0,075	1100	1185	980	800
0,1	1120	1180	970	650
0,15	900	1170	950	410
0,2		1160	940	300
0,25		1150	920	220
0,3		1120	870	
0,35		1020	805	
0,4		750	705	
Для плотности мощности лазерного излучения $8 \cdot 10^6$ Вт/м ²				
0	1120	1200	900	1160
0,05	910	1190	830	1110
0,1	850	1180	800	1000
0,15	1050	1170	810	770
0,2	900	1220	800	540
0,25	600	1150	770	480
0,3		970	770	390
0,35		550	850	330
0,4			890	310

Для данной одной плотности мощности лазерного излучения и скорости перемещения лазерного луча принимаем усредненные значения микротвёрдости по глубине, зависящие от экспериментальных данных.

Для различной плотности лазерного излучения и скорости перемещения лазерного луча получили следующие аппроксимирующие функции:

- для плотности лазерного излучения $8 \cdot 10^6$ Вт/см² и скорости перемещения лазерного луча 1120 мм/мин (рисунок, а)

$$HV_{50}(h) = -6914h^3 + 14116h^2 - 2375,8h + 1054,8;$$

- для плотности лазерного излучения $2 \cdot 10^6$ Вт/см² и скорости перемещения лазерного луча 560 мм/мин (рисунок, б)

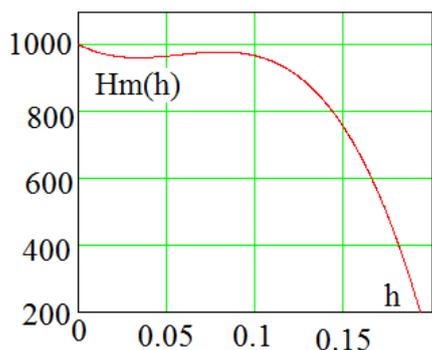
$$HV_{50}(h) = -26753h^3 + 11319h^2 - 1361,6h + 1219;$$

- для плотности лазерного излучения $8 \cdot 10^6$ Вт/см² и скорости перемещения лазерного луча 560 мм/мин (рисунок, в)

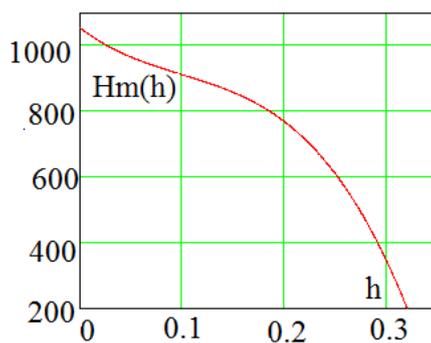
$$HV_{50}(h) = -68485h^3 + 25169h^2 - 2288,1h + 1217;$$

- для плотности лазерного излучения $2 \cdot 10^6$ Вт/см² и скорости перемещения лазерного луча 1120 мм/мин (рисунок, г)

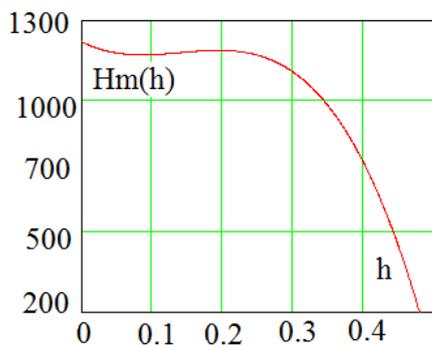
$$HV_{50}(h) = -336612h^3 + 58119h^2 - 2792,9h + 1002,8.$$



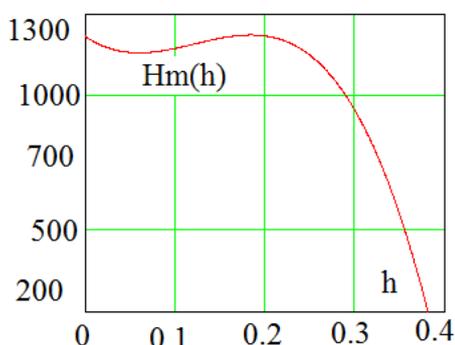
a)



б)



в)



г)

Графики полученных аппроксимирующих зависимостей

Полученные данные, с помощью аппроксимирующей функции, зависимостей показателей качества технологического процесса термообработки от параметров лазерного технологического комплекса можно использовать при выборе плотности мощности лазерного излучения для заданной твёрдости на определённой глубине термообрабатываемой детали, т.к. полученные функции обладают достаточной точностью и погрешность при вычислении по ним не превышает 5 %.

Литература

1. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов/ А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров/ под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 664 с.
2. Влияние модового состава лазерного излучения на зону термического воздействия в металлах / В.В. Звездин [и др.] // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2007. № 2. – С. 84 – 85.
3. Козлова Е.Е. Численное моделирование тепловых процессов при лазерной закалке деталей: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: АН БССР. Ин-т математики. – Минск, 1990. – 16 с.
4. Исследование процесса влияния изменения мощности при газолазерной резке металлов / В.А. Песошин [и др.] // Вестник КГТУ им. Туполева. – 2010. – № 2. – С. 43-46.
5. Грановский В.А. Исследование результатов экспериментальных исследований резания металлов. – М.: Машиностроение, 1993.
6. Основы численных методов/ Л.И. Турчак, П.В. Плотников М.: Наука, 2002. – 304 с.
7. Тарасевич Ю.Ю. Численные методы на Mathcad'e. – Астрахань: Астраханский гос. пед. ун-т, 2000. – 27 с.
8. Песошин В.А., Синтез автономных автоматных моделей для статистического моделирования/ В.И. Глова, В.М. Захаров // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – 1997.

Казакова И.Г.,

ст. преподаватель каф. ПГС и СМ,

Яблоков Н.С.,

студент 4 курса Строительного отделения,

Набережночелнинский институт КФУ

Применение отходов промышленности при производстве железобетонных изделий

Изучение применения отходов промышленности при производстве ЖБИ ведется уже давно. Еще в 60-е годы прошлого столетия была доказана эффективность применения тонкомолотых минеральных добавок техногенного происхождения для регулирования свойств бетонных смесей.

Шлаки тепловых электростанций, запасы которых исчисляются миллионами тонн, являются прекрасным сырьем для производства бетона. Они образуются из минеральной части углей, сжигаемых в пылевидном состоянии в топках котло-агрегатов.

Зерновой состав шлаков ТЭЦ характеризуется данными, приведенными в табл. 1, полученными при испытании шлаков на Казанской ТЭЦ-2, работающей в основном на кузнецком угле.

Таблица 1

Зерновой состав шлаков

Размер отверстий сит, мм	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Частные остатки, %	2-10	9-24	20-37	12-36	10-20	2-11	2-11
Полные остатки, %	2-10	11-34	36-70	62-81	77-92	89-97	100

Анализом установлено, что шлаки ТЭЦ по зерновому составу представляют собой механическую смесь шлакового песка (крупность зерен 0,14–5 мм) и шлакового щебня (крупность зерен более 5 мм). Плотность зерен шлака, образующихся в топках котлов, находится в основном в пределах 2,3–2,5 г/см³, а прочность образцов-кубов с ребром 2 см, выпиленных из куска этого шлака, достигает 150–200 МПа. Таким образом, шлаки ТЭЦ можно применять в качестве заполнителей бетонов самых высоких марок, вплоть до М700.

Учитывая высокое значение модуля крупности $M_{кр}$ шлакового песка (3,05–3,95), топливный шлак целесообразно использовать в качестве компонента, улучшающего гранулометрию мелких песков.

Шлаковый песок не имеет недостатков, присущих многим видам промышленных отходов – практически не содержит угловатых зерен, илестых, глинистых и других вредных примесей. Некоторое количество пылевидных фракций, которое может содержаться в шлаках, не ухудшая свойств бетона, заметно улучшает реологические (текущие) характеристики бетонной смеси.

Прочность и теплозащитные качества шлакобетона во многом зависят от гранулометрического состава его заполнителя, т.е. от соотношения в нем крупных (5-40 мм) и мелких (0,2-5 мм) гранул. При крупном шлаке бетон получается более легким, но и менее прочным, при мелком – наоборот, более плотным. Поэтому в технологии бетона большое внимание уделяется зерновому составу заполнителей как одному из

значимых факторов, влияющих на физико-технические свойства и экономичность. При подборе зернового состава заполнителей тяжелого бетона стремятся к тому, чтобы пустотность смеси песка, щебня и шлака была минимальной. Оптимальным считается такое соотношение между этими компонентами, при котором достигается не только наивысшая прочность бетона, но и наилучшая подвижность бетонной смеси.

Таблица 2

Сравнительная характеристика составов бетона

№ состава	Расход материалов, кг/м ³ бетона					Rсж, МПа
	цемент	щебень	песок	шлак ТЭЦ	вода	
1	282	1270	660	-	194	13,8/19,9*
2	252	1190	291	385	175	14,1/20,6

*Перед чертой 1 сутки, после черты - 28 суток.

Расход цемента в таких составах снижается и определяется при изготовлении пробных лабораторных замесов. Составы исходного (№ 1) и с применением шлака ТЭЦ (№2) бетонов, твердеющих в условиях тепловлажностной обработки, приведены в табл. 2. Многолетней практикой применения шлаков при изготовлении железобетонных конструкций доказана целесообразность использования шлаков ТЭЦ в качестве компонента, улучшающего гранулометрию заполнителей. Экономия цемента при этом достигает 8–10%. Если учесть, что в 1 м³ бетона марки М-400 используется примерно 320 кг цемента, то экономия будет составлять 25-32 кг, а это в среднем 100-120 рублей (по ценам на 2014 год).

Исходя из всего вышперечисленного, рациональное использование отходов расширяет сырьевую базу строительства, снижает его стоимость и вносит вклад в решение проблемы охраны окружающей среды.

Литература

1. Изучение состава и перспективы использования золошлаковых отходов Казанской ТЭЦ-2 [Текст] / Э.Р. Бариева, Э.А. Королев, Е.М. Нуриева // Проблемы энергетики (Известия вузов). – 2004. – № 9/10. – С. 105-110.

2. Применение шлаков ТЭС для улучшения качества бетонов [Текст] / В.М. Медведев, А.М. Сергеев, В.П. Емец // Бетон и железобетон. – 1982. – №3. – С. 41-42.

3. Оценка эффективности использования золы при производстве железобетонных конструкций [Текст] / И.Л. Чулкова, С.М. Кузнецов // Бетон и железобетон. – 2010. – №6. – С. 13-16.

Козин В.А.,

канд. техн. наук, доцент

Способы получения стальных отливок

Отливки получили широкое распространение во всех сферах и отраслях промышленности благодаря возможности получения деталей практически любой сложной геометрической формы из любых сплавов с внутренними полостями, что практически невозможно получить другими способами, такими как ковка, штамповка, сварка. Литейное производство выгодно отличается более высоким коэффициентом использования металла, который составляет 75% и более. Способ получения той или иной заготовки зависит от служебного назначения детали и требований, предъявляемых к ней, от ее конфигурации и размеров, вида конструкционного материала, типа производства и других факторов. Литьё – технологический процесс изготовления заготовок (реже – готовых деталей), заключающийся в заполнении предварительно изготовленной литейной формы жидким материалом (металлом, сплавом, пластмассой и т.п.) с последующим его затвердеванием. Литьём могут быть изготовлены изделия практически любой массы – от нескольких грамм до сотен тонн, со стенками толщиной от десятых долей миллиметра до нескольких метров. Основные сплавы, из которых изготавливают отливки: серый, ковкий и легированный чугуны (до 75% всех отливок по массе), углеродистые и легированные стали (свыше 20%) и цветные сплавы (медные, алюминиевые, цинковые и магниевые). Стальные отливки в отличие от чугунных обладают большей надежностью, прочностью и долговечностью при эксплуатации, обладают большей выносливостью при высоких температурах.

Стальные детали лучше выдерживают ударные нагрузки, чем чугунные. Современные стальные отливки, если они изготовлены по всем

требования и не имеют трещин и раковин, не уступают по механическим свойствам кованным деталям при меньшей стоимости.

Сталь обладает более низкими литейными свойствами, чем серый чугун: она менее жидкотекучая, дает большую усадку, более склонна к образованию при затвердевании усадочных раковин и трещин. Температура плавления стали выше, чем серого чугуна, поэтому из стали труднее получить отливки высокого качества. Тем не менее, стальное литье широко распространено. Ориентировочно стальные отливки составляют около 10% от всей массы металлических заготовок машиностроения. По данным РАЛ (Российской ассоциации литейщиков) российский рынок стального литья составляет приблизительно 1% от российского рынка стали в целом и 14,5% рынка отливок (чугунное и цветное литье). Для получения фасонного литья чаще употребляется углеродистая сталь, содержащая 0,12–0,6% углерода.

Анализ производства стальных отливок затруднен тем, что отсутствуют официальные статические данные о выпуске стальных отливок на ряде предприятий, которые являются крупными текущими производителями и обладают собственными производственными мощностями. Предприятия-производители товарного стального литья работают на нескольких сегментах и не предоставляют публичных сведений о структуре своих продаж. Каждое предприятие, даже в рамках одной отрасли, имеет свою специфику и специализацию. Проблемы и факторы, затрудняющие развитие металлургической промышленности, изложены в стратегии развития Российской Федерации до 2020 года [1].

На XI съезде литейщиков России в Екатеринбурге в сентябре 2013 года был остро поставлен вопрос о состоянии литейной отрасли, которая неразрывно связана с развитием машиностроения. Анализу состояния российского литейного производства посвящено выступление президента ассоциации литейщиков России проф. Диброва И.А., в котором отмечалось, что производство российского литья имеет тенденцию к понижению (ниже 4,0 млн тонн в 2013). Основное количество литейных предприятий в России (78%) составляют небольшие литейные цехи с объемом выпуска до 5000 тонн литья в год. Литейное производство в России сегодня включает около 1250 заводов и цехов, в том числе выпускающих литейные материалы, оснастку для литья и оборудование. Их загрузка в среднем достигает около 35% [2]. По данным РАЛ, 204 предприятия выпускают стальные отливки. На долю литых деталей в среднем приходится 50-70% массы (в станкостроении до 90%) и 20% стоимости машин.

По технологическим процессам производство отливок распределяется в % следующим образом:

- литье в сырые песчано-глинистые формы – 46;
- литьё в разовые формы из ХТС – 32;
- литьё в кокиль – 5;
- литьё под давлением – 8;
- центробежное литьё – 5;
- литьё в оболочковые формы – 0,5;
- литьё по выплавляемым моделям – 1,5;
- литьё по газифицируемым моделям – 0,8;
- непрерывное литьё – 0,8;
- другие технологии литья (Si V процессы) – 0,4.

На механизированных линиях, машинах и вручную производится 78 % отливок, на автоматических и полуавтоматических линиях – 22% [2].

Литьё в песчаные формы (ПГС) – дешёвый, самый грубый, но самый массовый (до 75-80 % по массе получаемых в мире отливок) вид литья. Изготавливается литейная модель (ранее — деревянная, металлическая, в настоящее время часто используются пластиковые модели, полученные методами быстрого прототипирования), копирующая будущую деталь. По модели из формовочной смеси (песок и связующее) изготавливается литейная форма. Смесь уплотняется встряхиванием, прессованием или же затвердевает в сушильной печи. Расплавленный металл заливается в разъемную форму через специальные отверстия – литники. После остывания форму разбивают, извлекают отливку, отделяют литниковую систему (обрубка), удаляют облой и проводят термообработку.

Работа с ПГС позволяет достичь высокой производительности при относительной дешевизне процесса. Технология ПГС является наиболее отработанной и хорошо изученной из всех рассматриваемых технологий.

Литье в холодно-твердеющих смесях (ХТС) предусматривает использование разъемной формы, песчинки которой связаны с помощью синтетической смолы. Литейная смесь уплотняется на АФЛ вибрацией и прессованием. Этот способ изготовления форм широко распространился за счет своей простоты и возможности производить самые разнообразные типы отливок. Но как показал мировой опыт, литье в ХТС генерирует повышенные текущие затраты. Фактически ХТС-процесс целесообразно применять при производстве 1 – 2 крупных отливок в день разнообразной, но опытной номенклатуры.

В мировой практике есть различия по способам уплотнения и отверждения форм по No-bake-процессу (Фуран и Альфа-сет) и Cold-box-

амин-процессу. Хотя под терминологию «химически твердеющие смеси» подходят оба процесса. Себестоимость смеси по Cold-box-амин-процессу существенно выше себестоимости сырых песчано-глинистых смесей, но из-за более экономичного расхода сухой смеси возможно уменьшить расход материалов (песка, связующих и добавок). Уменьшаются инвестиции на поставку дополнительного оборудования для очистки и регенерации смеси.

Высокая точность и чистота поверхности отливок, значительное сокращение затрат на последующую механическую обработку, уменьшение капитальных затрат на основное оборудование и сокращение материальных потоков обеспечивают преимущества данного способа литья.

Литьё металлов в кокиль – это способ получения фасонных отливок в металлических формах. Кокиль позволяет изготовить от нескольких десятков до сотен тысяч одинаковых отливок. В отличие от других способов литья в металлические формы (литьё под давлением, центробежное литьё и др.), при литьё в кокиль заполнение формы жидким сплавом и его затвердевание происходят лишь под действием силы тяжести. Процесс кристаллизации сплава при литье в кокиль ускоряется, что способствует получению отливок с плотным и мелкозернистым строением, с хорошей герметичностью и высокими физико-механическими свойствами.

Сталь имеет относительно высокую температуру плавления, и стойкость кокилей при получении стальных отливок резко снижается, поэтому метод кокильного литья для стали находит значительно меньшее применение, чем для цветных сплавов.

Литьё под высоким давлением практически не применяют для получения стальных отливок из-за высокой температуры плавления стали и соответственно низкой стойкости дорогостоящих пресс-форм.

Литьё по выплавляемым моделям (ЛВМ) применяется в случаях изготовления деталей высокой точности. Из легкоплавкого материала: парафин, стеарин и др., изготавливается точная модель изделия и литниковая система. Затем модель окунается в жидкую суспензию на основе связующего и огнеупорного наполнителя. В качестве связующего применяют гидролизованый этилсиликат марок ЭТС 32 и ЭТС 40. В настоящее время в ЛВМ нашли применения кремнезоли, не нуждающиеся в гидролизе в цеховых условиях и являющиеся экологически безопасными. Из сформированной оболочки выплавляют модельный состав. После сушки и вытопки блок прокаливают, после чего оболочки поступают на

заливку. В силу большого расхода металла и дороговизны процесса ЛВМ применяют только для ответственных деталей. Процесс литья по выплавляемым моделям широко применяется для получения точных стальных отливок из высоколегированных труднообрабатываемых сталей.

Литьё по газифицируемым (выжигаемым) моделям (ЛГМ) из пенопласта по качеству фасонных отливок, экономичности, экологичности и высокой культуре производства наиболее выгодно. Мировая практика свидетельствует о постоянном росте производства отливок этим способом, которое в 2007 году превысило 1,5 млн т/год. Метод особенно популярен в США и Китае. В песчаной форме модель из пенопласта при заливке замещается расплавленным металлом. Чаще всего форма из сухого песка вакуумируется на уровне 50 кПа, но также применяют формовку в наливные и легкоуплотняемые песчаные смеси со связующим. Область применения ЛГМ – отливки массой 0,1–2000 кг и более, в частности, в двигателестроении для литья блоков и головок блоков цилиндров и др.

Капитальные затраты на внедрение ЛГМ в 2 – 2,5 раза меньше в сравнении с ПФ, необходимые площади меньше чем у ПФ в 3 – 4 раза. ЛГМ хорошо зарекомендовал себя в автотракторном машиностроении, литье турбоарматуры и деталей насосов, корпусов электродвигателей, коммунальном машиностроении и др. [3].

Центробежный метод литья (центробежное литьё) используется при получении отливок, имеющих форму тел вращения. Под действием центробежной силы расплав распределяется по внутренней поверхности формы и, кристаллизуясь, образует отливку. Кристаллизация расплава в металлической форме под действием центробежной силы обеспечивает получение плотных отливок. При этом, как правило, в отливках не бывает газовых раковин и шлаковых включений.

Особыми преимуществами центробежного литья является получение внутренних полостей без применения стержней и большая экономия сплава ввиду отсутствия литниковой системы. Выход годных отливок повышается до 95 %.

Широким спросом пользуются отливки втулок, гильз и других заготовок, имеющих форму тела вращения, произведенные с помощью метода центробежного литья.

Сейатцу-процесс (воздушный поток и последующее гидравлическое прессование) машиностроительного концерна Sinto (S-процесс) – это инновационный процесс пришел на смену старых традиционных (встряхивание, прессование и др.) способов уплотнения форм. Сейатцу в переводе с японского означает «тихая формовка». Сам процесс уплотнения

песчано-глинистых смесей Сейатцу выглядит следующим образом – пространство модельной оснастки, состоящее из подмодельной плиты, опоки и наполнительной рамы, заполняется необходимым количеством формовочной смеси. Стол машины поднимается и двигает держатель подмодельной плиты с опокой и наполнительной рамой к прессовой головке таким образом, что все пространство формы становится герметично закрытым. Затем на короткое время открывается клапан воздушного потока. Воздушный поток проходит формовочную смесь от контрлада в сторону модели и уходит через венты в держателе подмодельных плит и в самой подмодельной плите. Дополнительное прессование сверху многоплунжерной головкой совершает окончательное уплотнение формы.

Преимущества способа Сейатцу – уплотнение форм воздушным потоком с прессованием, обеспечивает равномерно высокую твердость формы, возможность формовки сложных контуров, уменьшение формовочного уклона, расхода металла и затрат на очистку и на механическую обработку отливок. Воздушный поток полностью заменяет встряхивание, поэтому уровень шума снижается. Способ Сейатцу работает без динамических нагрузок на фундамент. Это значит снижение затрат на фундамент, уменьшение повреждений и снижение затрат на техобслуживание. Снижается износ моделей, так как воздушный поток по поверхности модели создает эффект "псевдосмазки".

При вакуумно-пленочной формовке (ВПФ, V-процесс) расплавленный металл заливается в разъемную форму из сухого песка без связующих. Литейная смесь уплотняется на АФЛ с помощью встряхивания и за счет вакуума, создаваемого между нижней натянутой на модель пленкой, опокой и верхней укрывающей пленкой. Отливки, полученные V-процессом, не только качественнее, но и дешевле на 30%, чем по ПФ. Вакуум-процесс – второй после Сейатцу-процесса наиболее активно используемый способ уплотнения форм на литейных опочных АФЛ. Быстрое распространение вакуум-процесса тоже является одной из основных тенденцией развития отечественного литейного производства последние 10 лет. Процесс обеспечивает экологичность, минимальные припуски на механообработку литых деталей и точное воспроизведение форм и маркировок, возможность изготовления тонкостенных и длинных стальных отливок, долгий срок службы моделей (нет контакта модели с песком, только с пленкой, что исключает износ). Для V-процесса нужно меньше оборудования, а значит, и инвестиций. Сегодня в мире с помощью V-процесса производится ~15% всего литья (~150 млн т/год).

Серьезной проблемой литейного производства остается вредное воздействие на окружающую среду. Поэтому внедрение современных экологически безопасных технологий сегодня как нельзя более актуально.

Литература

1. Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации до 2020 года: утв. Приказом Минпромторга России от 5 мая 2014 г. № 839.

2. Дибров И.А. Перспективные направления развития литейного производства России / И.А. Дибров // Труды IX съезда литейщиков России (Уфа, 20-24 апр. 2009 г.) – С. 3-6.

3. Рыбаков С. А. Инновационные возможности литья по газифицируемым моделям, состояние и перспективы этого метода в России // Литейщик России. –2009. – №4. – С. 44-45).

Кондрашов А.Г.,
канд. техн. наук, доцент,
Сафаров Д.Т.,
канд. техн. наук, доцент,
Давлетшина Г.К.,
ст. преподаватель

Имитационное моделирование процессов резания

Качество обработанных поверхностей формируется в несколько этапов. При этом существенный вклад вносит точность изготовления и износ базовых элементов модулей инструментальной оснастки. Отклонения каждого из показателей точности (относительное положение, геометрические размеры, отклонения профиля, формы, волнистость) представляют собой сумму технологических составляющих, каждая из которых вызвана отклонением от заданного положения конкретного модуля системы [1]. Решение задачи мониторинга состояния металлорежущего оборудования и оснастки по измеренным показателям точности представлено в работе [2]. Методика, описанная в этой работе, основана на координатном измерении показателя точности до и после

обработки в одних и тех же точках, регистрации параметров процесса и вычислении отклонений модулей технологической системы.

Повысить эффективность методик, приведенных в работах [1, 2], возможно за счет прогнозирования точности обработки. Однако существующие методики проектирования инструмента и оснастки основаны на идеализированных моделях процесса, в которых модули заменены идеальными поверхностями – плоскостями, цилиндрическими поверхностями и др. В результате невозможно моделировать фактические отклонения обрабатываемых элементов для конкретных условий и обеспечить их прогнозирование во времени.

Прогнозированием точности механической обработки занимались многие российские ученые. В работе [3] процесс формообразования представлен как движение взаимосвязанных систем координат, проведенных через звенья технологической системы, которые непосредственно участвуют в образовании погрешности обработки детали. При этом учитывается силовое взаимодействие между звеньями, однако сами звенья представлены как комплексы идеальных поверхностей и не принимаются во внимание их реальные форма и профиль, полученные при изготовлении и в результате износа.

В работах [4–6] станочные модули представлены в виде объемных и поверхностных конечных элементов. Станочная система рассматривается как совокупность систем координат отдельных модулей, начало координат которых совпадает с их центром тяжести. Связь между системами координат осуществляется посредством трех параметров смещения начала координат и трех углов поворота, которые рассчитываются из условия контакта поверхностных конечных элементов. Ансамбль поверхностных конечных элементов определяется путем математического моделирования исходя из проектных требований к поверхности. Вопрос измерения при нахождении вершин элементов не рассматривается. Процесс базирования модулей не раскрывается (у модулей не выделены установочные, направляющие, упорные элементы). Как следствие, невозможно имитировать процесс обработки, можно лишь оценить точность положения отдельных модулей технологической системы. Отсутствует пример реализации методики с конкретными значениями.

Расчет точности металлорежущего оборудования с помощью матричных методов для суммирования погрешностей рассмотрен в работах [7, 8].

Общим недостатком указанных работ является отсутствие возможности прогнозирования точности обработки изделия, поскольку

точность отдельных движений станков рассматривается без комплексного моделирования результата формообразования и оценки качества изделия.

Цель работы – разработка математического аппарата моделирования элементов, образованных в операциях лезвийного формообразования, на основе построения замкнутых цепей технологических модулей в единой системе координат.

Для учета отклонений модулей технологической системы проанализируем структуру модуля и механизм их базирования.

Методика исследования. Каждый модуль технологической системы рассмотрим как набор комплексов элементов. В общем случае можно выделить присоединительный, посадочный, управляющий и рабочий комплексы. Присоединительный и посадочный комплексы состоят из установочного, направляющего и упорного элемента, которые, в свою очередь, состоят из опорных точек (рис. 1).



Рис. 1. Структура модуля технологической системы

Контактируя в опорных точках присоединительных и посадочных комплексов, модули образуют замкнутую цепь. Применительно к процессу формообразования эту цепь можно разделить на две ветви – инструментальную и заготовительную. Начало цепи находится в полюсе резания, а конец – на станине.

Присоединительные и посадочные комплексы модулей можно представить в виде сетки, элементарной ячейкой которой является участок плоскости, ограниченный треугольником. Исходными данными для построения элементарных ячеек являются результаты измерения координат точек на указанных комплексах для каждого модуля в своей системе координат.

Для построения модели приняты следующие допущения:

- сетка элементарных ячеек является абсолютно жесткой;
- сопряжение сеток осуществляется в виде контакта точек-вершин с гранями элементарных ячеек.

При этом контактирующие вершины и грани могут располагаться на обоих модулях. На установочном элементе существует три точки контакта, на направляющем – две, а на упорном – одна.

Моделирование процесса базирования сводится к построению систем координат всех модулей, входящих в цепь в единой системе координат станка. Определить положения систем координат отдельных модулей возможно, последовательно встраивая один модуль в другой (рис. 2) с пересчетом координат точек в общую систему координат.

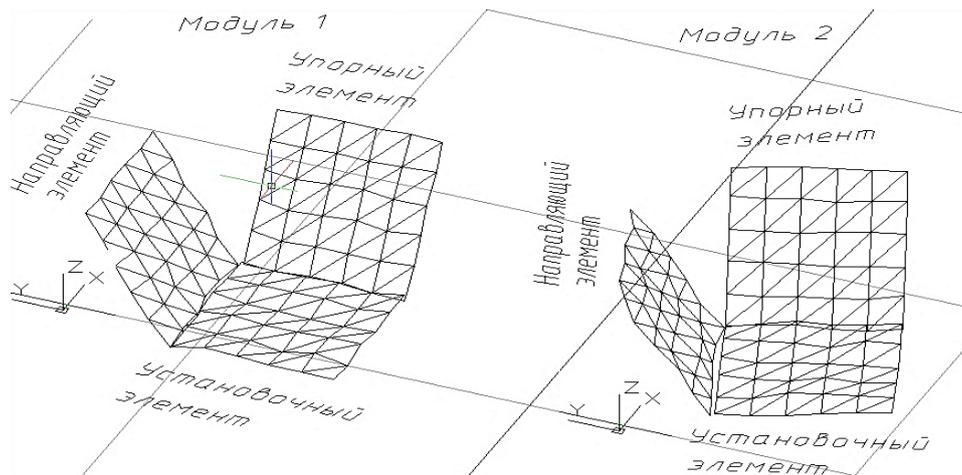


Рис. 2. Начальное положение модулей

Определение точек контакта вершин и граней сеток двух модулей – сложная задача, решение которой выполним в несколько этапов:

- *этап 1* – предварительное базирование по прилегающим поверхностям, построенным на произвольно взятых вершинах (рис. 3). Это могут быть плоскости, цилиндрические и конические поверхности;

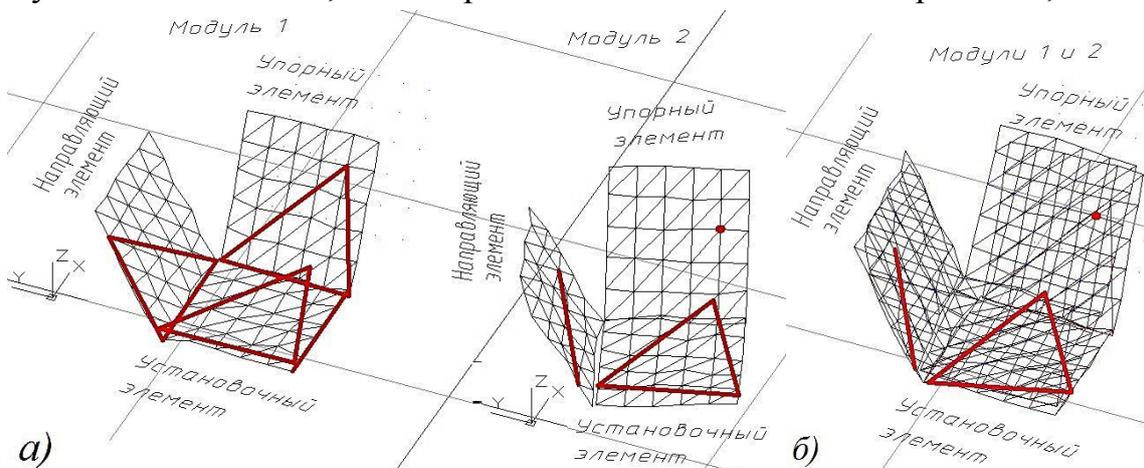


Рис. 3. Предварительное базирование модулей:

а – до базирования; *б* – после базирования

- *этап 2* – обеспечение контакта по одной точке и зазора по всем остальным точкам (рис. 4, а). Для этого определяют расстояния по нормали между противоположащими вершинами и ячейками. Подвижный модуль смещают на величину минимального расстояния по нормали;

- *этап 3* – построение вектора действия силы F прижима модуля. Перпендикулярно вектору силы через точку первичного контакта 1 строится мгновенная ось вращения $a-a$ (рис. 4, б). Поворот модуля вокруг этой оси $a-a$ до появления контакта в точке 2;

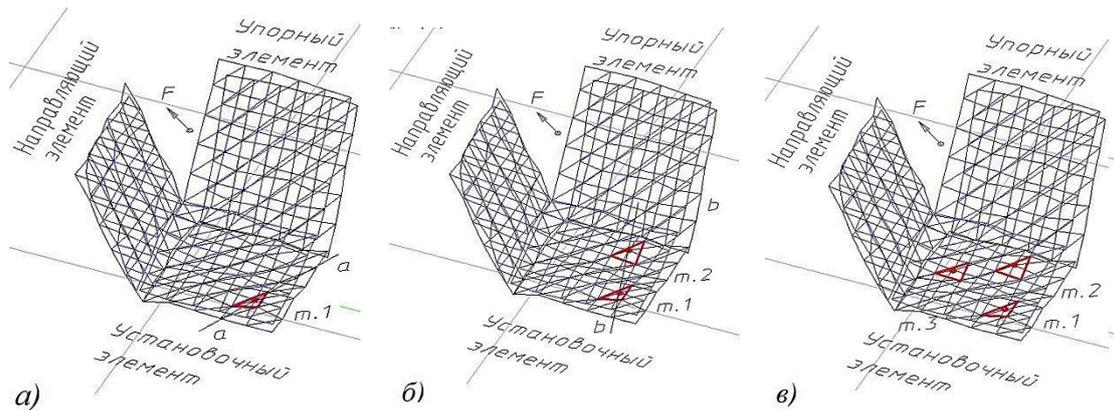


Рис. 4. Нахождение трех точек контакта 1–3

- *этап 4* – построение мгновенной оси вращения $b-b$ через две точки контакта. Поворот модуля вокруг этой оси до появления контакта по третьей точке (рис. 4, в).

- *этап 5* – определение реакций в точках контакта. Решение задачи статики и нахождение вектора нескомпенсированной силы F' прижима;

- *этап 6* – проецирование полученного вектора на контактные грани, определение усредненного направления. Нахождение потенциальной точки контакта в данном направлении. Перемещение модуля до появления контакта в потенциальной точке с сохранением контакта ранее найденных вершин и граней (рис. 5).

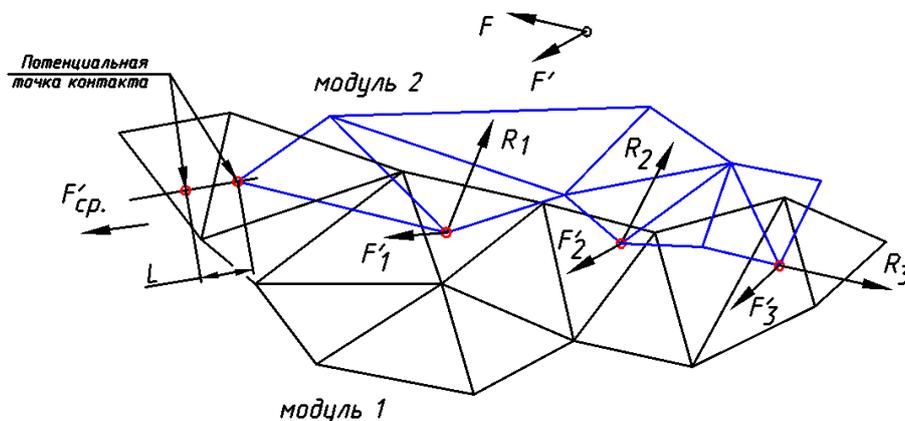


Рис. 5. Определение потенциальной точки контакта

Для этого найденные точки контакта представляют в виде матрицы $|M_k|$ до перемещения и $|M_k^*|$ после перемещения. Контактные грани представляются матрицей $|P|$ коэффициентов уравнений плоскостей и вектором $|D|$:

$$|M_k| = \begin{vmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_n \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_n \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{vmatrix}; \quad |M_k^*| = \begin{vmatrix} X_1^* & X_2^* & \dots & X_n^* \\ Y_1^* & Y_2^* & \dots & Y_n^* \\ Z_1^* & Z_2^* & \dots & Z_n^* \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{vmatrix};$$

$$|P| = \begin{vmatrix} A_1 & B_1 & C_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ A_n & B_n & C_n \end{vmatrix}; \quad |D| = \begin{vmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_n \end{vmatrix}.$$

Система уравнений, описывающая перемещение модуля с сохранением контакта вершин и граней, описывается системой уравнений

$$\begin{cases} |M_k^*| = |M_k| |H|; \\ |M_k^*| |P| = |D|, \end{cases} \quad (1)$$

где $|H|$ — матрица преобразования,

· этап 7 – проверка взаимного проникновения модулей, нахождение точек проникновения (рис. 6, а). Замена точек контакта на точки проникновения, решение системы уравнений (1) – обеспечение контакта по новым точкам (рис. 6, б).

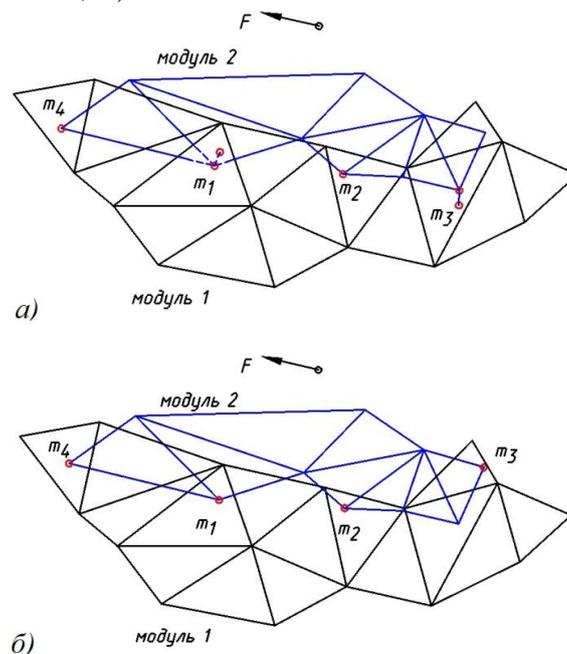


Рис. 6. Определение точек взаимного проникновения (а) и нахождение новых точек контакта (б)

Этапы 5 и 7 необходимо итерационно повторить до обеспечения равновесного состояния модулей друг относительно друга (отсутствие некомпенсированной силы прижима).

Теоретическая апробация методики проведена на примере операции зубозакругления [9] и заключалась в имитации процесса формообразования. Были определены координаты точек режущей кромки в единой системе координат с обрабатываемой заготовкой и построены поверхности вращения режущей кромки обеих фрез относительно оси шпинделя. Полученные поверхности вращения пересекаются между собой и с поверхностями заготовки, образуя на детали рабочий комплекс, обеспечивающий плавность включения передачи (рис. 7).

Предложенная методика учитывает реальное состояние модулей технологической системы и позволяет прогнозировать точность формообразования в процессе выпуска продукции в виде отклонения от середины поля допуска и поддерживать значения показателей в требуемом диапазоне.

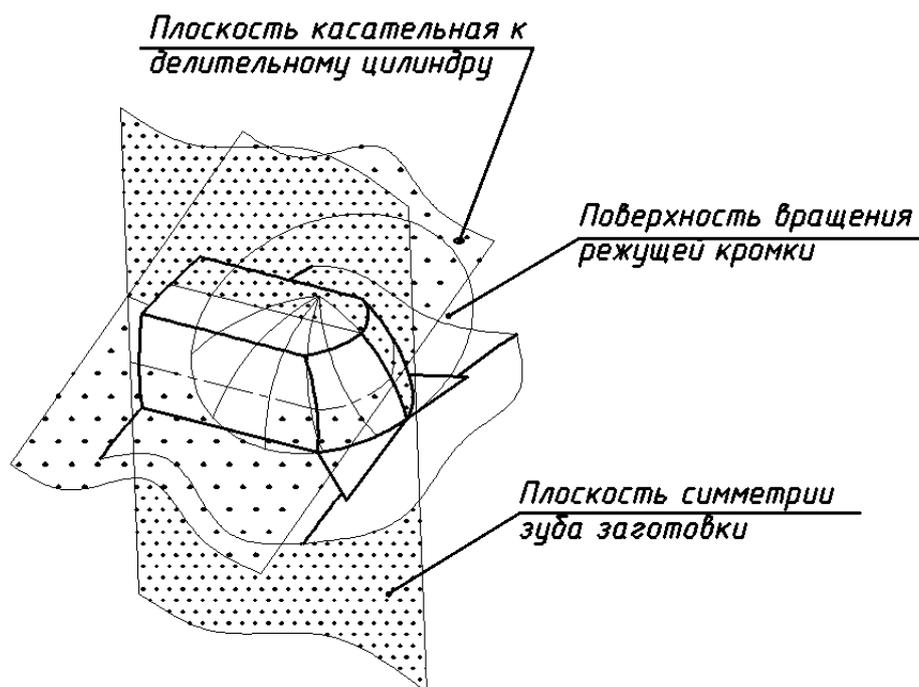


Рис. 7. Схема определения показателей точности зубозакругления имитационной модели

Выводы

1. Проведенное теоретическое исследование показало принципиальную возможность прогнозирования точности лезвийного формообразования, адекватность результатов которого, в первую очередь,

определяется точностью измерения базовых поверхностей модулей технологической системы.

2. На основе анализа моделирования процесса базирования модулей технологической системы выявлена необходимость структурирования каждого из них по единой методике с обязательным выделением присоединительных и посадочных комплексов, в каждом из которых определяются установочные, направляющие и упорные базовые элементы, служащие критериями поиска координат точек контакта.

Литература

1. Формирование отклонений показателей качества при создании продукции/ С.В. Касьянов, Д.Т. Сафаров // *Методы менеджмента качества*. – 2007. – № 2. – С. 30-36.

2. Касьянов С.В. Диагностические измерения геометрических параметров пространственно-сложных деталей автокомпонентов однокоординатным высотомером / С.В. Касьянов [и др.] // *Контроль. Диагностика*. – 2013. – № 8. – С. 60-64.

3. *Моделирование и управление производственными системами*/ В.Г. Митрофанов, О.И. Драчев, А.В. Капитанов. – Ирбит: ОНИКС, 2011. – 243 с.

4. *Моделирование точности при проектировании технологических машин*/ М.Г. Косов [и др.] – М.: МГТУ «СТАНКИН», 1997. – 104 с.

5. Структурная точность металлорежущих станков / А.П. Кузнецов, М.Г. Косов // *СТИН*. – 2012. – № 5. – С. 2-7.

6. Моделирование контактной жесткости поверхностей / А.А. Корзаков, М.Г. Косов // *Вестник МГТУ Станкин*. – 2008. – № 2. – С. 6-10.

7. Методология комплексного расчета точности обработки для токарных станков с ЧПУ / В.А. Спирин, М.А. Красильников, А.А. Михайлов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. – 2012. – Т. 14. – № 2. – С. 77-89.

8. Кольцов А.Г. Методика построения математической модели точности технологического оборудования на базе многооперационного станка // *Вестник УГАТУ*. – 2013. – Т. 17. – № 8(61). – С. 106-116.

9. Кондрашов А.Г., Белугин Ю.Ф. Пат. № 2318636, РФ, МПК В 23 F 19/10. *Способ закругления торцев зубьев зубчатых колес (варианты)*. № 2006112880/02, бюл. № 7. 18 с.

Корчагин О.П.,
канд. техн. наук, доцент,
Зонина С.В.,
ст. преподаватель

Усиление несущих стеновых панелей лестничных клеток в 5-этажных домах 141 серии

В городе Набережные Челны с 70-х годов XX века при строительстве микрорайонов широко применялась 5-этажная серия 1-468 БНЧ с широким (6 м) шагом поперечных несущих стен.

Ей на смену в 90-е годы пришла 141 серия, являющаяся модернизацией предшествующей. Суть модернизации состояла в перепланировке двух квартир из трёх на лестничной площадке, замену балконов на лоджии (с увеличением их ширины на 1-м и 2-м этажах до 1,8 м и до 1,5 м соответственно, и возможностью устройства погреба под лоджией первого этажа), а также в увеличении ширины лестничной клетки. Была увеличена ширина лестничных маршей с 900 мм до 1250 мм, что привело к увеличению пролета лестничной площадки и увеличению нагрузки на консоль стеновой панели.

Строительство 5-этажных домов в 39 микрорайоне в г. Набережные Челны осуществлялось модернизированной 141 серией. После завершения монтажа и последующего заселения дома 39/15 (в начальный период эксплуатации) обнаружилось характерные дефекты опорных консолей под лестничными площадками (см. рис. 1). При появлении явных признаков повреждений консолей стеновых панелей в лестничных клетках, ЖЭУ организовало техническое совещание по данной проблеме. Техническое совещание из представителей завода-изготовителя (ДСК), подрядной организации, эксплуатирующей организации и сторонней проектной организации, констатировало факты повреждения консолей. Совещание признало состояние консолей аварийным и рекомендовало их срочно усилить. Усиление было выполнено в виде установки под консоли сварных швеллеров (см. рис.2).



Рис. 1. Дефекты опорных консолей под лестничными площадками

Согласно проекту консоли армируются рабочей арматурой класса А-III (А400) диаметром 6 мм, бетон консолей М150 (В15) ($\rho=2400 \text{ кг/м}^3$) (см рис. 3).

По результатам обследования качества и прочности бетона в конструкциях стеновых панелей бетона в конструкциях стеновых панелей прибором НПС-МГ 4.01 были получены следующие данные по прочности на февраль 2008 (через 10 лет после монтажа).

Кубиковая прочность бетона (дом 39-15, п.9) под консолями лестничных площадок 6-го подъезда на площадках между 3 и 4 этажами: $R=31,6 \text{ МПа}$, $R=23,5 \text{ МПа}$ (15 измерений).

Дом 39-15, подъезд 6: выполнено усиление консольных участков стойками из швеллеров №20 (с полкой 76 мм, толщина стенки $\delta=5 \text{ мм}$). Прочность бетона под консолью: $R=18,4 \text{ МПа}$ (между 3 и 4 этажами) слева и $R=43,0 \text{ МПа}$ рядом с консолью $R=41,1 \text{ МПа}$ (слева), $R=18,7 \text{ МПа}$ (справа).

Подъезд 5: лестничная площадка между 4 и 5 этажами, кубиковая прочность: $R= 21,0 \text{ МПа}$ (слева), $R=34,6$ (справа).

Проверочный расчёт показал, что при проектных данных по бетону и арматуре и соблюдении геометрических параметров консолей они имеют по несущей способности 3-4 –кратный запас. Следовательно, причина образования повреждений в консолях находится в нарушении технологии

их изготовления. Как установлено в ряде натуральных наблюдений, прочность бетона при кассетном способе формирования в верхней зоне панелей в 1,5- 2 раза меньше, чем в нижней. По нашим данным, через 10 лет эксплуатации разница в прочности бетона в нижней и верхней частях панелей составила 2,33 раза. Также известно, что при благоприятных температурно-влажностных условиях прочность бетона в конструкциях нарастает. Наши натурные наблюдения подтвердили эту закономерность.

Оценка выполненного усиления консольных участков

1. После усиления консолей новых повреждений не наблюдалось. Следовательно, наступила стабилизация их состояния.

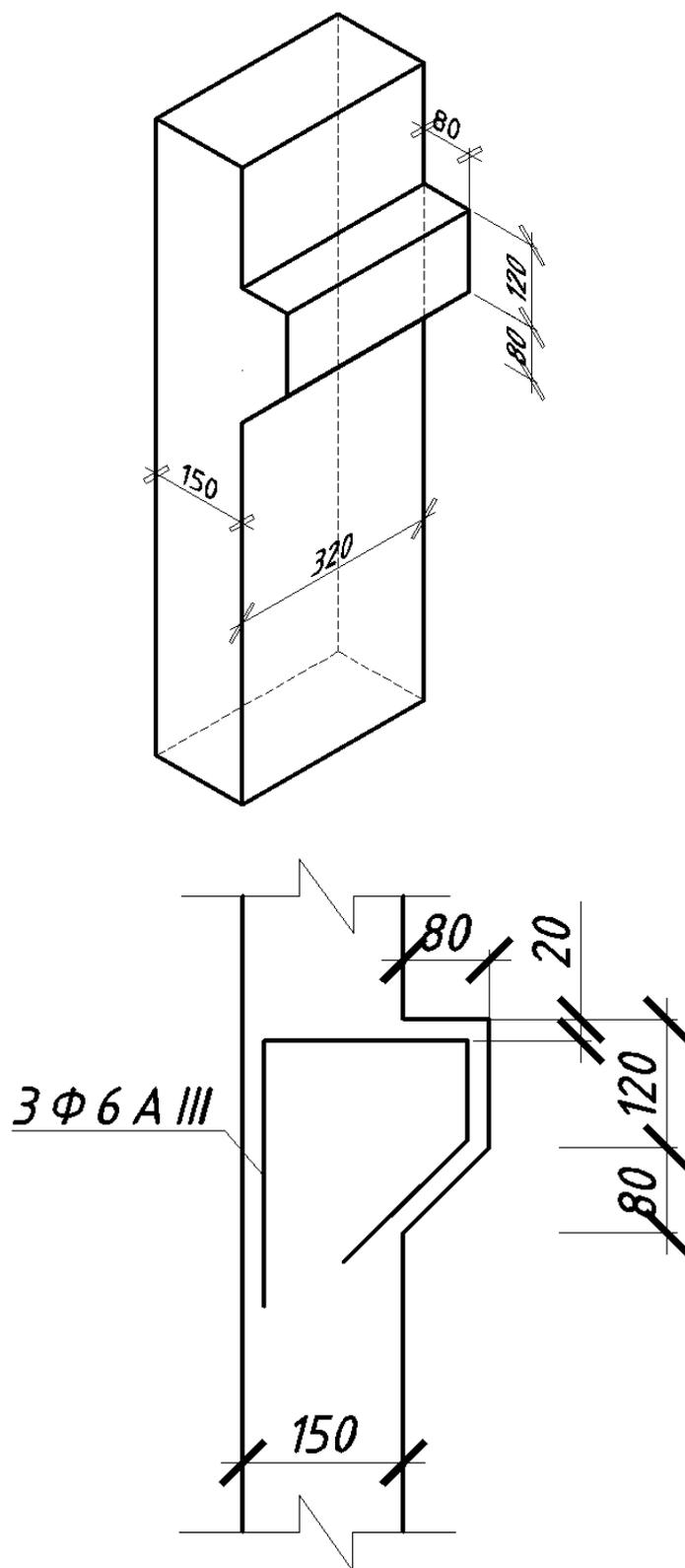
2. Современное состояние консолей стеновых панелей после усиления можно считать вполне надежным.

3. Единственный недостаток данного усиления: малоэстетичный вид и, следовательно, ухудшение интерьера лестничной клетки.

4. В отдельных местах, из-за наличия коммуникаций, усиление носит декоративный характер.



Рис. 2. Усиление консолей стальными швеллерами



**Рис. 3. Панель ВПВ 1-2л (п) [ВПВ 1-2л (п)-1].
Размеры консоли по проекту.**

Возможные причины повреждения консолей

1. Низкая прочность бетона в консолях к моменту загрузки эксплуатационной нагрузкой: бетон не успел " набрать " в заводских условиях необходимых 70% проектной прочности.

2. Влажный бетон замерз в условиях отрицательных температур. Таким образом, бетон приобрел так называемую криогенную прочность и в период монтажа недостаток прочности бетона не проявился на поведении консолей панелей.

3. Панели были доставлены на монтажную площадку и установлены в проектное положение в зимнее время, то есть когда бетон находился в замороженном состоянии.

4. Трещины в консолях были зафиксированы после заселения дома – в начальный период эксплуатации (то есть при эксплуатационных нагрузках).

5. Усугубляющим фактором для возникновения трещин в консолях стал кассетный способ производства. Как показывает практика, при данном способе изготовления не удается сделать бетон равной прочности по высоте панели. Как правило, бетон в нижней части панели прочнее бетона в верхней в 1,5-2 раза (по натурным данным $43,8/18,4= 2,33$ раза).

Возможные варианты усиления консолей

1. Фиксация существующего состояния и восстановление монолитности консольной части путем инъецирования полимерраствора в трещины.

2. Создание бетонной армированной " рубашки ".

3. Подведение разгружающей балки под лестничной площадкой. Наиболее технологичное решение – в виде металлической балки, установленной параллельно несущему ребру и спрятанной под лестничную площадку.

Литература

1. СП 13-102-2003: Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: 2004.

2. СП 20.13330.20116: Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07 -85* Минрегион России. – М.: 2010. – 95 с.

3. Бадьин Г.Н., Таничева Н.В. Усиление строительных конструкций при реконструкции и капитальном ремонте зданий: учеб. пособие для студ. вузов по направлению 653500 «Строительство» – М.: АСВ, 2010. – 112 с.

4. Добромыслов А.Н. Дефекты в конструкциях при строительстве. – М.: АСВ, 2009. – 192 с.

5. Добромыслов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений: справ. пособие/ А.Н. Добромыслов. – 2-е изд., перераб. и доп.– М.: МГСУ: АСВ, 2008.– 304 с.

Крюков А.Е.,

аспирант,

Шутова Л.А.,

ст. преподаватель,

Шутов А.А.,

аспирант,

Использование эластичной среды для получения заготовок из листа в условиях мелкосерийного производства

В современных условиях производства на предприятиях автомобилестроения, машиностроения и приборостроения стало актуальным получение деталей мелкими сериями ограниченной номенклатуры. В мелкосерийном и быстропереналаживаемом производстве штамповая оснастка крупносерийного и массового производства оказывается экономически неэффективной из-за высокой стоимости, значительной длительности процессов изготовления и технологической подготовки производства.

В этих условиях применяют универсальную штамповую оснастку, в которой, в частности, используют эластичные среды, обычно резину и полиуретан, исполняющие роль пуансона или матрицы. Резина обладает малой износостойкостью и может работать при относительно невысоком давлении (30-50 МПа), достаточном лишь для штамповки деталей из металлов невысокой прочности толщиной до 2 мм. Полиуретан имеет высокую износостойкость и может работать при давлении до 1000 МПа и выше. Эластичные среды можно применять как для операций вытяжки, так и для разделительных операций листовой штамповки [1].

С целью определения зависимости усилия вырубki от толщины шаблона были проведены экспериментальные исследования процесса вырубki круглой заготовки полиуретановой матрицей по жесткому пуансону (рисунок 1).

Для исследования были выбраны: лист АД35 толщиной 0,7 мм, сталь 08Ю толщиной 0,5 и 1 мм.

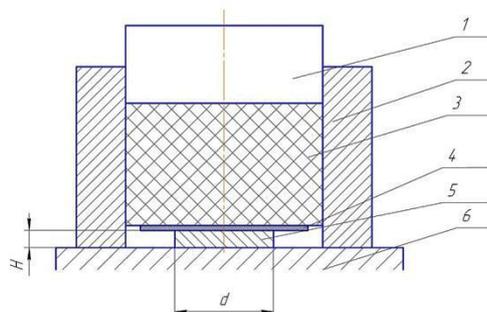


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для вырубki жёстким шаблоном:
1 – верхний боёк; 2 – бандаж; 3 – эластичная матрица; 4 – заготовка; 5 – шаблон; 6 – нижний боёк

Расчет параметров операции вырубki эластичной средой был произведен по методике [2, с. 43].

Размер исходной заготовки:

$$D_3 = 357 \text{ мм.}$$

Размеры шаблона.

Контуры шаблонов выбираем с учетом формы сечения поверхности разделения.

Определим диаметр шаблона:

$$D_{\text{п}} = D_3 + 2 \times b = 357 + 2 \times 0,5 = 358 \text{ мм.}$$

Высоту шаблона определим по формуле [2, с. 43]:

$$h_{\text{п}} = 3 \times (1 + 0,01 \times \delta_{10}) \times \sqrt{s} = 10,8 \text{ мм,}$$

где δ_{10} – относительное удлинение материала заготовки, для стали 08Ю

$$\delta_{10} = 33\% .$$

Технологический припуск по внешнему контуру шаблона:

$$L = h_{\text{п}} \times (1,4 \times \mu + 1/\mu) = 10,8 \text{ мм,}$$

где μ – коэффициент трения свисающего края припуска,

$$\mu \approx 0,5.$$

Размер квадратной пластины (штучной заготовки для вырубki):

$$B_{\text{пл}} = D_3 + 2 \times L = 358 + 2 \times 10,8 = 379,6 \text{ мм.}$$

Параметры эластичной среды.

Материал эластичной среды – полиуретан.

Толщина эластичной пластины в контейнере для разделительных операций:

$B = 25 \dots 30$ мм.

Временное сопротивление разрыву стали 08Ю при толщине 2...2,5 мм
 $250 < \sigma_B < 500$ МПа.

Предел прочности стали:

08Ю $\sigma_B = 330$ МПа, толщина заготовки $s = 1,0$ мм.

В процессе исследований вырубке заготовки эластичной матрицей по жёсткому шаблону было проведено 5 проб.

1. Образец: лист АД35, толщина $s = 0,7$ мм, относительное удлинение $\delta_{10} = 12\%$

Расчётная толщина шаблона $\approx 3,0$ мм.

Расчётная величина технологического припуска по внешнему контуру 8,1 мм.

2. Образец: лист – сталь 08Ю, толщина $s = 0,5$ мм, относительное удлинение $\delta_{10} = 33\%$

Расчётная толщина шаблона $\approx 3,0$ мм.

Расчётная величина технологического припуска по внешнему контуру 8,1 мм.

3. Образец: лист – сталь 08Ю, толщина $s = 1,0$ мм, относительное удлинение $\delta_{10} = 33\%$

Расчётная толщина шаблона $\approx 4,0$ мм.

Расчётная величина технологического припуска по внешнему контуру 10,8 мм.

Для эксперимента были выбраны шаблоны толщиной 3 и 6 мм.

Таблица 1

Результаты вырубки по жёсткому шаблону

№ Пробы	Материал	Толщина S мм	Высота шаблона Н мм	Усилие вырубки Р кН
1.	АД35	0,7	3	70
2.	АД35	0,7	6	28
3.	Сталь 08Ю	0,5	3	150
4.	Сталь 08Ю	0,5	6	75
5.	Сталь 08Ю	1	6	200

Анализируя полученные экспериментальные данные, получили

следующие результаты:

Проба № 1

Отделение металла полное, срез ровный, складки на отходе отсутствуют.

Качество среза соответствует требованиям, размеры пластины и технологического припуска соответствуют расчётным.

Проба № 2

Неполное отделение металла и складки на краях листа указывают на невозможность использования шаблона высотой 6 мм для данного материала, так как возможное относительное удлинение алюминиевого сплава значительно меньше, чем у стали.

Проба № 3

Неполное отделение металла и складки на краях листа указывают на недостаточный технологический припуск, следовательно, для данного образца при использовании шаблона высотой 6 мм технологический припуск необходимо увеличить приблизительно в 2 раза.

Проба № 4

Неполное отделение металла и складки на краях листа указывают на недостаточный технологический припуск.

Выводы

1. Исследования показали, что усилие вырубки уменьшается с увеличением высоты шаблона, но при этом увеличение технологического припуска приводит к увеличению расхода материала.
2. При увеличенной высоте шаблона могут возникнуть разрывы и складки на отходе и заготовке.
3. Уменьшение высоты шаблона приводит к неполной вырубке, либо разделению металла не происходит вовсе.
4. Увеличение высоты шаблона приводит к образованию складок, однако повышает чистоту среза.

Литература

1. Исаченков Е. И. Штамповка резиной и жидкостью. – М.: МАШГИЗ, 1962. – 330 с.
2. Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 4: Листовая штамповка / под ред. А.Д. Матвеева; ред. совет: Е. И. Семенов [и др.] – М.: Машиностроение, 1985-1987. – 544 с.

3. Крюков А.Е., Шутов А.А. Штамповка изделий из листового металла с использованием эластичной среды в условиях мелкосерийного производства. Проектирование и исследование технических систем: межвузовский научный сборник. Вып. № 2(16). Набережные Челны: Изд-во Кам. гос. инж.-экон. акад., 2010. – С.77-79.

Кужагильдин Р.С.,

доцент

Жигулев И.О.,

канд. техн. наук, доцент

Современные способы ремонта и восстановления штампов

Статистика участков ремонта штамповой оснастки современных кузнечно-прессовых производств показывает, что наибольшая доля случаев выхода из строя штампов при соблюдении технологического процесса штамповки происходит по причине абразивного износа (истирание). Для штампов горячего деформирования к основному виду износа также относится и разгар. Вследствие высокой стоимости как штамповой стали, так и процесса получения гравюры штампа, затраты на инструмент в себестоимости штампованной детали могут достигать 17-20%. Очевидным способом сокращения затрат по указанной статье являются работы по повышению стойкости штамповой оснастки, ее ремонту и восстановлению. Повышение стойкости штампов позволяет значительно сократить потери рабочего времени на ремонт, заправку и изготовление штампов, снизить простои оборудования при смене штампов и увеличить количество отштампованных деталей с одного штампа.

Кроме рационального выбора штамповой стали по ряду таких свойств как: прочность, пластичность, ударная вязкость, твердость, разгаростойкость, теплопроводность, обрабатываемость, коробление при термической обработке, особое внимание при приемке заготовок для штампов уделяют химическому составу, макро- и микроструктуре сплава, качеству поверхности, величине обезуглероженного слоя. Для повышения стойкости часто штамповые стали подвергают азотированию, борированию, реже – хромированию. Армирование вставками из твердых сплавов в десятки раз увеличивает ресурс инструмента. Применение наплавки рабочих поверхностей может применяться и как способ

повышения стойкости, и как способ восстановления изношенной поверхности.

В вырубных и дыропробивных штампах износ пуансонов и матриц устраняется переточкой рабочей части с удалением слоя металла 0,1-0,15 мм. Практикуется переделка изношенного пуансона от одного штампа на другой тип или размер. Ножи восстанавливают сменой наставок. Изношенные направляющие колонки заменяют новыми и к ним ставят новые втулки.

Наиболее прогрессивным методом восстановления изношенных поверхностей штампового инструмента является наплавление специальными электродами слоя металла, толщина которого в основном варьируется от 0,5 до 10 мм.

Для обеспечения известных требований к наплавке, а именно: минимальное проплавление основного металла, наименьшее перемешивание наплавленного металла с основным, минимальные остаточные напряжения и деформации в детали, минимально приемлемые значения припусков на последующую обработку детали – технологический процесс наплавки должен состоять из ряда вспомогательных и основных операций. После зачистки маркировки предыдущего ремонта, нанесения новой, визуального контроля, отпуска для снятия ковочных напряжений, очистки от грязи производится удаление дефектного слоя ручья на глубину, как правило, не менее 10 мм и глубже до полной ликвидации разгарных трещин. Далее, после очистки дробью и металлическими щетками проводится инструментальный контроль на наличие микротрещин. Наплавку проводят плавящимся электродом в среде инертных газов нагретого до 500⁰С штампа с предварительно заглушенными отверстиями выталкивателей. Наплавляют валиками по 100 мм, с проковкой предыдущего слоя и контролем температуры штампа до 300⁰С. Выравнивают температуру штампа и нагревают его до 450⁰С в камерной печи, после часовой выдержки производят медленное охлаждение. Затем получают необходимую твердость наплавленного слоя посредством отпуска. Проводят окончательный контроль твердости наплавленного слоя и передают на механическую обработку ручья.

Ниже приведены обозначения рекомендуемых электродов для наплавки при ремонте и восстановления штамповой оснастки.

Марки наплавочных электродов для штампов

Марки электродов для наплавки	Тип электрода наплавочного по ГОСТ 10051-75 или тип наплавленного металла	Диаметр, мм	Положение наплавки	Основное назначение. Твердость наплавленного металла
1	2	3	4	5
ОЗИ-3	Э-90Х4М4ВФ	3,0; 4,0; 5,0	Нижнее	Наплавка штампов холодной и горячей (до 650 ⁰ С) штамповки. HRC, 59-64
ОЗИ-5	Э-10К18В11М10Х3СФ	3,0; 4,0; 5,0	Нижнее	Наплавка металлорежущего инструмента и штампов горячей (до 800-850 ⁰ С) штамповки. HRC, 63-67
ОЗИ-6	100Х4М8В2СФ	2,5; 3,0; 4,0; 5,0	Нижнее, наклонное	Наплавка при ремонте тяжело нагруженных штампов холодной и горячей (до 650 ⁰ С) штамповки. HRC, 59-64
ОЗШ-1	Э-16Г2ХМ	3,0; 4,0; 5,0	Все, кроме вертикального сверху вниз	Наплавка молотовых и высадочных штампов. HB 320-365
ОЗШ-2	10Х5М10В2Ф	2,5; 3,0; 4,0	Нижнее, наклонное	Наплавка штампов горячей штамповки. HRC, ≥ 57
ОЗШ-3	Э-37Х9С2	2,5; 3,0; 4,0; 5,0	Нижнее, вертикальное	Наплавка обрезающих и вырубных штампов холодной и горячей (до 650 ⁰ С) штамповки. HRC, 53-59
ОЗШ-6	10Х33Н11М3СГ	2,5; 3,0; 4,0	Нижнее	Наплавка кузнечноштамповой оснастки холодного и горячего деформирования металлов (до 950 ⁰ С) и больших давлений. HRC, 52-60
ОЗШ-7	5Х10С3М	2,5; 3,0; 4,0	Нижнее, вертикальное	Наплавка кузнечно-штамповой оснастки, работающей при температурах до 650 ⁰ С.

		5,0		HRC ₃ ≥56
ОЗШ-8	11X31M3ГСЮФ	3,0; 4,0	Нижнее, вертикаль- ное	Наплавка кузнечноштамповой оснастки горячего деформи- рования металлов, работаю- щих в сверхтяжелых условиях термической усталости (до 1100 ⁰ С) и больших давлений. HRC ₃ 51-57
УОНИ- 13/НЖ 20X13	Э-20X13	3,0; 4,0; 5, 0	Нижнее, наклонное	Наплавка штампов холодной и горячей (до 400 ⁰ С) обрезки, HRC ₃ 41,5-49,5
ЭН-60М	Э-70X3СМТ	2,5; 3,0; 4,0; 5,0	Нижнее, полуверти- кальное	Наплавка штампов всех ти- пов, работающих при темпе- ратуре до 400 ⁰ С. HRC ₃ 53-61

Литература

1. Сварка в машиностроении: справочник в 4 т. Т. 3 Г.А. Николаев [и др.].– М.: Машиностроение, 1979 – 567 с.
2. Электроды для наплавки. Общая краткая характеристика и каталог наплавочных электродов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.spetsselectrode.ru/teh9.htm>.

Малныч А.А.,
канд. техн. наук, доцент

Современные системы обслуживания и ремонта кузнечно-штамповочных машин

Для предприятий реального сектора с большим объемом основных фондов, таких как машиностроительные производства, поддержание в работоспособном состоянии оборудования и производственных мощностей является одной из ключевых задач. Для решения этой комплексной проблемы используются разные стратегии – модернизация производственных технологий, обновление оборудования, увеличение частоты и качества технологического оборудования. Существенный износ

производственных фондов снижает объемы и качество выпускаемой продукции, увеличивает травматизм персонала, ухудшает экологическую обстановку. Однако главным негативным фактором все же являются высокие и слабо контролируемые затраты на техническое обслуживание, ремонт оборудования и ликвидацию последствий аварий.

К сожалению, далеко не везде процессы ТОиРО на промышленных предприятиях информационно обеспечены на современном уровне. Даже на тех предприятиях, где внедрены «тяжелые» информационные системы класса ERP, деятельность технических служб зачастую слабо регламентирована и основана лишь на опыте и знаниях отдельных специалистов. Недостаточно формализованы процессы обслуживания, разрознена критически важная информация. Главные специалисты предприятий используют устаревшие методы сбора обработки и анализа состояния оборудования и неэффективные способы планирования.

Отсутствие инструмента контроля и анализа усложняет процессы принятия решений, увеличивает время формирования отчетности и составления перспективных планов, приводит к невозможности обоснования затрат на ТОиРО. Бумажный документооборот сопряжен с рисками потери информации или ее несвоевременного использования. На современном этапе появилась потребность интегрировать в существующую информационную среду предприятия все технические службы, предоставив им индивидуальный инструментарий для решения типично технических задач и упростив их взаимодействие в смежных бизнес-процессах. Отсутствие такого инструмента может привести к ошибкам при планировании и проведении работ, повышению затрат на оборудование, а также чревато сбоями и авариями в производстве, которые для непрерывного производства могут иметь серьезные последствия и вылиться в существенные финансовые потери. Важно отметить, что потери при простое непрерывного производства из-за аварии намного превышают затраты на ТОиРО.

Решением вышеописанных проблем для машиностроительных производств является использование информационных систем для управления ТОиРО, реализуемых на современных программных платформах, таких как продукты SAP, Oracle, DataStream и др. Использование данных систем позволяет контролировать техническое состояние технологического оборудования машиностроительных производств, применять оперативное и долгосрочное планирование.

Долгосрочное планирование. Информационная система должна обладать функциями организации долгосрочного планирования

технического обслуживания, основанного на опыте эксплуатации оборудования и учитывающего требования технической и проектной документации, рекомендации надзорных органов и фактические показатели наработки и ранее произведенных ремонтов. При создании планов предупредительного ТОиРО используются простые циклические календарные графики и сложные стратегии планово-профилактических ремонтов, определяющие различный объем ремонта при достижении разных показателей. Возможно создание комплексных графиков, зависящих не только от календарного времени эксплуатации оборудования, но и от фактически отработанного времени или объема выполненной работы. С учетом нормативов технического обслуживания оборудования удастся подсчитать плановую стоимость ТОиРО в горизонте планирования от одного дня до года и более.

Оперативное планирование. Вовлечение в процесс планирования и согласования специалистов всех уровней, как внутренних, так и внешних, позволяет снизить нагрузку на службы главных специалистов при подготовке ремонтов, в том числе и сложных капитальных ремонтов и реконструкций производственных мощностей. Каждый участник процесса обязан в соответствии с регламентом ТОиРО предоставлять в систему информацию, за которую он несет ответственность. Цепочка выполнения операций при ежедневном использовании системы позволит любому заинтересованному лицу видеть ход выполнения процесса и стадию подготовки и планирования конкретных работ.

Контроль технического состояния. Своевременность и актуальность данных о техническом состоянии оборудования снижает риски возникновения внеплановых и аварийных ремонтов. Достоверность данных в системе, их соответствие настоящему положению дел достигается следующим образом:

- ✓ замена технологических журналов оперативного персонала производственных установок на электронные сообщения в системе (позволяет контролировать возникновение неисправностей);

- ✓ интеграция с диспетчерскими системами (позволяет анализировать причины и продолжительность простоев с детальным историческим анализом);

- ✓ интеграция со службами технической диагностики (позволяет заблаговременно выявлять и предоставлять отчетность о прогнозируемых отказах оборудования);

- ✓ интеграция с системами АСУТП и SCADA (позволяет контролировать состояние оборудования непрерывно либо с

периодичностью с целью анализа трендов, для локализации мест развития дефектов).

Таким образом, система становится единой средой, куда собираются данные о техническом состоянии оборудования, полученные из разных источников, что позволяет вести детальный анализ ситуации.

В конечном счете процессы технического обслуживания становятся частью общих бизнес-процессов предприятия. Например: долгосрочные планы ремонтов становятся базой для бюджетирования; оперативное планирование ремонтов связывается с работой служб материально-технического обеспечения; управление запасами выполняет заявки на получение запасных частей и материалов, непосредственно формируемые в ходе подготовки ремонтной документации, и т.д.

Осуществление сбора информации для контроля технического состояния невозможно без определения фактического состояния технологического оборудования, для чего необходима детальная диагностика объекта с целью определения его реального технического состояния, что позволяет производить оперативное и долгосрочное планирование.

При работе любого оборудования происходит износ его частей с последующим выходом их из строя. Любой износ или развитие дефекта характеризуются изменениями некоторых параметров, которые и необходимо обнаруживать и контролировать. Для этого применяются преимущественно методы *неразрушающего контроля* – методы, сохраняющие целостность оборудования и пригодность его к использованию:

- ✓ *вихретоковый метод,*
- ✓ *магнитный метод,*
- ✓ *акустический импедансный метод,*
- ✓ *метод свободных колебаний (МСК).*

Наиболее информативным считается метод определения фактического технического состояния оборудования по анализу его вибраций, которые могут порождаться силами различной природы – и механической, и электромагнитной, и гидро- и аэродинамической, и т. д.

Надлежащее техническое обслуживание и своевременный – по факту состояния, а не после аварий – ремонт способны существенно продлить срок службы промышленного оборудования. А также сократить затраты на его содержание (например, за счет снижения расходов на устранение последствий внеплановых остановов), повысить общую надежность работы предприятия и т. д.

Для предприятий машиностроительного производства, особенно использующих сложное и дорогое оборудование, вопросы технического обслуживания и ремонтов ТОиР являются крайне важными. Затраты таких предприятий на ТОиР могут составлять более половины общих расходов на производство продукции. Облегчить управление ТОиР, повысить его эффективность призваны специализированные системы.

Основная задача, стоящая перед этими системами, – это уменьшение затрат на обслуживание оборудования и повышение надежности его работы, что в конечном счете призвано снизить себестоимость производимой продукции и обеспечить стабильность работы предприятия.

Согласно исследованиям, применение автоматизированных систем в совокупности с системами диагностики может обеспечить сокращение затрат на ремонт оборудования до 50-80 %, расходов на техническое сопровождение до 50-80 %, объемов материально-производственных запасов до 30 % и повышение рентабельности производства до 20-60 %. При этом средняя окупаемость внедрения рассматриваемых систем – 3,5-5 лет.

Литература

1. Ремонт и монтаж кузнечно-прессового оборудования / М.И. Анисимов, О.В. Кудинов, Б.П. Украинцев. – М.: Машиностроение, 1973.
2. Автоматический синтез нечеткого регулятора с использованием генетических алгоритмов / И.Б. Гарцев, М.С. Ситников // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2008. – № 4. – С. 38-42.
3. Модернизация систем управления в энергетике / С.В. Корнеев, А.Г. Кофто, В.В. Мохор // Корпоративные системы. – 2003. – №1. – 35-42 с.
4. Мелихова О.А. Нечеткие интеллектуальные системы // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 1986. – № 2. – С. 59-63.
5. Прикладные нечёткие системы / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
6. Шехватов Д.В. Управление основными фондами: как автоматизировать ремонты и техническое обслуживание / – // СЮ. – 2003. – № 3 (13). – С. 32-34.

Особенности магнитных свойств магнетита мелкодисперсной фракции, полученного методом плазменно-электролитического диспергирования

Магнетит (Fe_3O_4) находит применение как материал сердечников радиоэлектронной аппаратуры, покрытие для составных магнетитовых анодов, сорбент тяжелых металлов. Однако использование природного магнетита осложняется необходимостью отделения его от пустой породы и очистки от различных примесей [1]. Более выгодным оказывается получение магнетита путем плазменно-электролитического диспергирования стальных электродов разных марок сталей.

Целью данной работы было исследование физических свойств синтезированного магнетита в зависимости от размеров его кристаллов, а также в зависимости от химического состава изучаемых образцов. Исследование свойств кристаллов дисперсного магнетита разного размера проводили методами магнитометрии (намагниченность насыщения) и магнитного резонанса.

Элементный состав материала контролировали рентгенофлуоресцентным методом, который характеризуется высокой экспрессностью, чувствительностью и точностью.

Для исследований был синтезирован дисперсный магнетитовый порошок, с некоторым содержанием немагнитной части оксида железа. С целью выделения разноразмерных фракций с помощью сит разного диаметра проба была просеяна и разделена на ряд фракций от 90 до 140 мкм. После этого с помощью магнита Сочнева и электромагнита из проб была выделена магнитная фракция.

Подготовка магнетита к рентгенофлуоресцентному анализу включала отбор средней пробы и приготовление трёх параллельных образцов массой 25 мг, которые помещали в пробификсирующую измерительную кювету анализатора.

Для определения примесного состава магнетита рентгенофлуоресцентным методом использовали энергодисперсионный анализатор "QuanX" (TN Spectrace, США) и портативный кристалл-дифракционный анализатор «Спектроскан» («Буревестник», С.-Петербург). В первом случае характеристические излучения примесных элементов (в диапазоне от 2 до 25 кэВ) регистрировали полупроводниковым детектором Si (Li).

Энергетическое разрешение спектрометра составляло 150 эВ по линии 6.4 кэВ. Время измерения для одной пробы не превышало 100 с. Содержание элементов определяли по методу фундаментальных параметров с помощью программы аналитического комплекса “QuanX”. Измерения проводили в режиме качественного анализа в диапазоне длин волн от 0.145 до 0.205 нм, в котором находятся характеристичные длины волн рентгенофлуоресцентного излучения Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn. На приборе «Спектроскан» определяли общее содержание железа по линии K α с кристаллом-анализатором LiF 200. Для градуировки использовали образец чистого железа (рис.1).

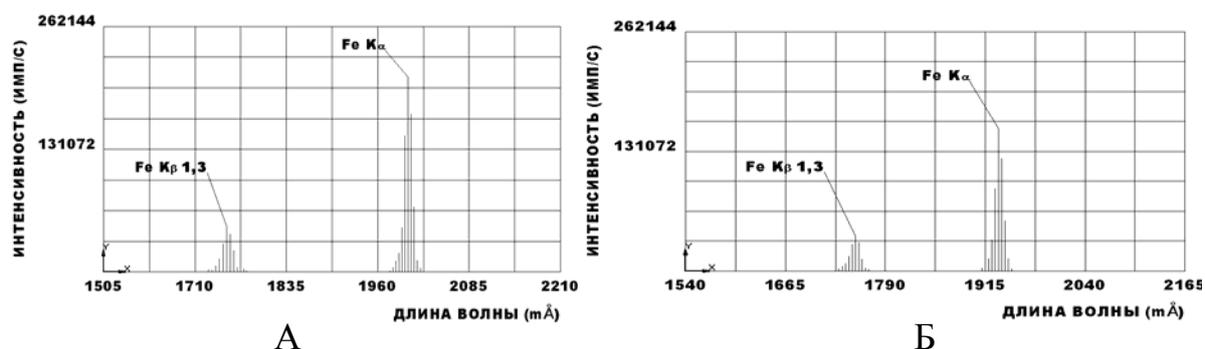


Рис. 1. Рентгенофлуоресцентный спектр образца синтетического магнетита (А) и стандартного образца железа (Б).

Теоретические значения массовых долей Fe общего и Fe(II) в магнетите (Fe₃O₄) составляют 72.36% и 24.12% соответственно. Сравнение с экспериментальными данными показывает, что содержание в исследованных образцах магнетита указанных форм железа мало отличается от теоретического, однако несколько ниже. Очевидно, последнее объясняется присутствием в синтетическом магнетите ряда примесей; массовая доля суммы примесей, которые были определены, превышает 2% (возможно присутствие и некоторых других примесей).

Таблица 1

Типичный примесный состав исследованных образцов магнетита

Определяемый элемент	Массовая доля, %
Mg	0.070±0.001
Al	0.070±0.001
Cr	0.060±0.001
Mn	0.070±0.001
Ni	<0.010

Судя по данным о химическом составе исследованных образцов, они могут использоваться в тех технических приложениях, для которых предназначен синтетический магнетит.

После проведения измерений были получены данные, на основе которых можно сделать вывод, что при уменьшении размеров фракций магнетита, намагниченность насыщения увеличивается прямо пропорционально. Однако следует отметить, что намагниченность насыщения наименьшей из исследованных фракций магнетита (< 0.01 мм) достигает $56 \text{ А-м}^2/\text{кг}$, что приблизительно на $1/3$ меньше табличного значения для природного магнетита ($92 \text{ А-м}^2/\text{кг}$). Мы объясняем этот факт наличием немагнитных примесей в исследуемых пробах, что приводит к уменьшению удельной намагниченности образцов. Кроме того, было установлено, что для образцов дисперсного магнетита наименьшей фракции характерен рост намагниченности насыщения с увеличением температуры синтеза.

Спектр магнитного резонанса сильно отличается от остальных и проявляет интенсивный сигнал магнитного резонанса в более высоких полях (около 2500 Э). Мы предполагаем, что различие спектров магнитного резонанса образцов разного размера связано с разным доменным состоянием образцов. То есть образцы дисперсных магнетитов имеют размеры до 100 нм и являются однодоменными, в то время как образцы магнетита, имеющие размеры от 0.63 до 0.01 мм , являются многодоменными.

Литература

1. Разенцевейг Р. Феррогидродинамика. – М.: Мир, 1989. – 356 с.
2. Левитин Е.Я., Оноприенко Т.А., Цихановская И.В., Ведерникова И.А. Физ. явл. в твёрдых телах: тезисы докл. VI междунар. конф. – Харьков: ХНУ, 2003. – С.71.
3. Марченко З. Фотометрическое определение элементов. М.: Мир, 1971, с.170.

Нетфуллов Ш.Х.,
канд. техн. наук, доцент,
Сибгатуллина Л.Ш.,
канд. техн. наук, доцент КГАСУ,
Нетфуллов М.Ш.,
ст. преподаватель

Влияние слоистости грунтового массива на режим нагнетания жидкого стекла

Изучение характера распространения закрепляющего раствора в многослойных массивах грунта, из которых главным образом слагаются неустойчивые откосы земляных сооружений и котлованов, проводилось путем проведения полуреплики полного факторного эксперимента [1,2,3] типа 2^5 с изучением влияния следующих факторов: плотности X_1 , давления X_2 , продолжительности нагнетания X_3 , коэффициента фильтрации грунта X_4 и толщины проницаемых прослоек X_5 на радиус распространения закрепляющего раствора R . В качестве закрепляющего раствора принято жидкое стекло (силикат натрия). Условия проведения эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1
Условия проведения эксперимента

Наименование факторов	Индекс фактора	Ед. изм.	Сред. уровень	Интервал варьирования, Δx_i	Значение уровней варьирования				
					+2,00 α	Верхний +1	Средний 0	Нижний +1	-2,00 α
Плотность закрепляющего раствора	X_1	г/см ³	1,19	0,06	1,31	1,25	1,19	1,13	1,07
Давление нагнетания закрепляющего раствора	X_2	МПа	0,06	0,02	0,1	0,08	0,06	0,04	0,02
Продолжительность нагнетания закрепляющего раствора	X_3	сек.	60	20	100	80	60	40	20

Коэффициент фильтрации проницаемого песчаного грунта	X_4	м/су т.	8	3	14	11	8	5	2
Толщина проницаемых прослоек в грунтовом массиве	X_5	мм	30	10	10	20	30	40	50

Предполагается, что рассматриваемый процесс закрепления с пятью независимыми переменными факторами теоретически будет описываться многочленом второй степени (уравнением регрессии) вида [1,4]:

$$R = a_0 + a_1X_1 + \dots + a_5X_5 + a_{11}X_1^2 + \dots + a_{55}X_5^2 + a_{12}X_1X_2 + \dots + a_{45}X_4X_5.$$

Расчет коэффициентов уравнения регрессии проводится методом наименьших квадратов. Их значимость установлена по критерию Стьюдента[4].

Уравнение регрессии для R будет иметь вид:

$$R = 11,4 + 2,86X_4 - 1,70 X_1X_2 + 1,35X_1X_4 - 1,50X_2X_3 + 1,16 X_4X_5.$$

Проверка на адекватность уравнений регрессии осуществляется по критерию Фишера [3,4], которая показала, что при уровне значимости 0,05 уравнение регрессии для R имеет вид:

$$F_{\text{ОПЫТ}} = 4,2 < 5,0 = F_{\text{ТЕОР.}}$$

Количественная оценка влияния факторов и их взаимодействий на R приведена в таблице 2.

Таблица 2

Количественная оценка влияния факторов и их взаимодействий на R

Эффекты									
Основные		Квадратичные		Взаимодействия		Частные			
Факторы	2a _i	Факторы	2a _{ii}	Факторы	2a _{ij}	Факторы	Фиксация фактора	2a _i + 2a _{ij}	2a _i - 2a _{ij}
X_1	0,0	X_1	0,0	$X_1 X_2$	-3,40	X_1	X_4	+1,25	-4,25
X_2	0,0	X_2	0,0	$X_1 X_4$	+2,5	X_4	X_1	+8,2	+3,02
X_3	0,0	X_3	0,0	$X_2 X_3$	-3,00	X_1	X_2	+1,90	-4,90
X_4	5,72	X_4	0,0	$X_4 X_5$	+2,32	X_2	X_1	+5,20	-1,60
X_5	0,0	X_5	0,0			X_3	X_2	+4,80	-2,10

						X_2	X_3	+4,34	-1,67
						X_4	X_5	+7,04	+2,40
						X_5	X_4	+2,32	-2,32

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. В многослойном песчано-глинистом грунтовом массиве, так же, как и в однородном песчаном [2], основное влияние на радиус распространения закрепляющего раствора R оказывает коэффициент фильтрации грунта. Остальные коэффициенты уравнения регрессии: плотность X_1 , давление X_2 , продолжительность нагнетания X_3 , коэффициент фильтрации грунта X_4 и толщина проницаемых прослоек X_5 , по сравнению с коэффициентом фильтрации грунта, существенного влияния на радиус распространения закрепляющего раствора R не оказывают.

2. Эффект взаимодействия факторов: плотности X_1 и коэффициента фильтрации грунта X_4 – показывает, что при совместном их увеличении происходит увеличение радиуса распространения закрепляющего раствора R . Эффект взаимодействия факторов: коэффициента фильтрации грунта X_4 и толщины проницаемых прослоек X_5 – показывает, что при совместном их увеличении также происходит увеличение радиуса распространения закрепляющего раствора R .

3. Количественное влияние эффектов взаимодействий a_{12} и a_{23} примерно одинаково: они отрицательно влияют на радиус распространения закрепляющего раствора R .

4. Частные эффекты от увеличения плотности X_1 и коэффициента фильтрации грунта X_4 приводят к увеличению радиуса распространения закрепляющего раствора R .

5. Частные эффекты: плотность X_1 и давление X_2 – приводят к уменьшению радиуса распространения закрепляющего раствора R .

6. Частные эффекты: давление X_2 и продолжительность нагнетания X_3 – также приводят к уменьшению радиуса распространения закрепляющего раствора R .

Это объясняется тем, что интенсивность поглощения закрепляющего раствора грунтом или распространение закрепляющего раствора в массиве грунта тем меньше, чем больше плотность или вязкость раствора, а увеличение продолжительности нагнетания закрепляющего раствора приводит к образованию геля, закупорке пор и, следовательно, к уменьшению радиуса распространения закрепляющего раствора.

7. Частные эффекты: коэффициент фильтрации грунта X_4 и толщина проницаемых прослоек X_5 – приводят к увеличению радиуса распространения закрепляющего раствора R .

Литература

1. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: – Наука, 1965. – 248 с.

2. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 264 с.

3. Рекомендации по закреплению карбонатных песчаных грунтов при проходке подземных выработок / НИИ основания и подземных сооружений Госстроя СССР. – М.: – Стройиздат, 1971. – 31 с.

4. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – Л.: – Химия, 1975. – 48 с.

5. Вертинская Н.Д. Математическое моделирование многофакторных и многопараметрических процессов в многокомпонентных системах на базе конструктивной геометрии. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – Ч.1. – 229 с.

6. Никаноров А.В. Математическое моделирование эксперимента: учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. – 108 с.

7. Математическое планирование эксперимента при отработке электронных устройств / А. А. Ковель, С. В. Покидько // Известия вузов. Приборостроение. – 2008. – Т. 51. – № 8. – С. 13-18.

8. Математическое планирование эксперимента в условиях факторной ниши / А. А. Ковель, С. В. Покидько // Известия вузов. Приборостроение. – 2011. – Т. 54. – №4. – С. 47-50.

Панов А.Г.,
д-р техн. наук

Исследование влияния обработки чугунных расплавов карбонатами ЩЗМ при изготовлении отливок центробежным способом

Опыт применения нового технологического инструмента – обработки чугунных расплавов материалами типа барий-стронциевых карбонатов (БСК) производства компании "МеталлТехноПром" [1-3] при изготовлении

отливок в песчано-глинистые формы показал следующие её технические эффекты:

- увеличение технологической жидкотекучести расплава;
- уменьшение доли междендритного графита в отливках;
- увеличение однородности характеристик графита и матрицы чугуна;
- увеличение доли и дисперсности перлита;
- уменьшение дефектов газоусадочного характера, спаев, улучшение обрабатываемости при одинаковой твёрдости и прочности.

Эти эффекты достигаются без изменения химического состава чугуна, наиболее сильно проявляются при использовании шихты низкого качества и на основании результатов визуального наблюдения процесса обработки, а также в соответствии с квазихимической моделью микронеоднородного строения расплавов и явлением структурной наследственности сплавов объясняются [4]:

- перемешиванием расплава за счёт движения газов, повышающим макрооднородность расплава;
- рафинирующим действием оксидов Ba и Sr;
- дегазирующим действием пузырьков $\{CO_2+CO\}$;
- зародышеобразующим действием оксидов Ba и Sr и продуктов их взаимодействия с неметаллическими включениями в локально переохлаждённых микрообъёмах расплава за счёт диссоциации карбонатов и расширения микропузырьков $\{CO_2+CO\}$;
- разрушающим механическим воздействием микропузырьков $\{CO_2+CO\}$, имеющих размеры порядка 10-ков и 100-тен микрометров, на элементы структуры расплава, за счёт чего повышается его макрооднородность.

В условиях ООО "Камский моторный завод" исследовали влияние обработки чугуновых расплавов карбонатами ЩЗМ (модификатор Р-20) при изготовлении отливок "гильза" центробежным способом. Для этого анализировали макро- и микроструктуры поперечного сечения брусков, продольно вырезанных из отливок, модифицированных по трём разным схемам:

- А – Р20 + L-cast[®]705 (опыт),
- Б – Р20 + ФС65Ba4 (опыт),
- В – ФС65Ba4 (стандарт).

Микроструктуры исследовали в области рабочей поверхности у бурта и тонкой части («хвоста»). Визуальный осмотр образцов показал, что они

системно отличаются по качеству внутренней поверхности (рисунок 1). Отливки, обработанные P20 (А и Б), имеют гладкую и наиболее ровную внутреннюю поверхность, что соответствует большей жидкотекучести и растекаемости расплава. Отливки стандартной технологии имеют шероховатую поверхность, требующую большой припуск на механическую обработку порядка 0,5...1 мм (~ 5% металлоёмкости отливки). Наилучшую внутреннюю поверхность имеют отливки варианта Б.

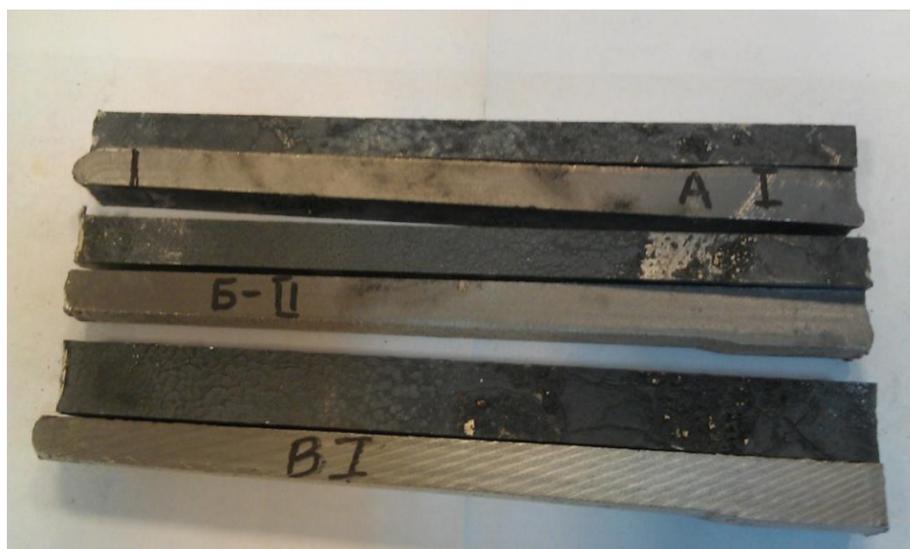


Рис. 1. Внешний вид внутренней поверхности отливок

Характерные микроструктуры экспериментальных чугунов представлены на рисунках 2,3 и таблице.

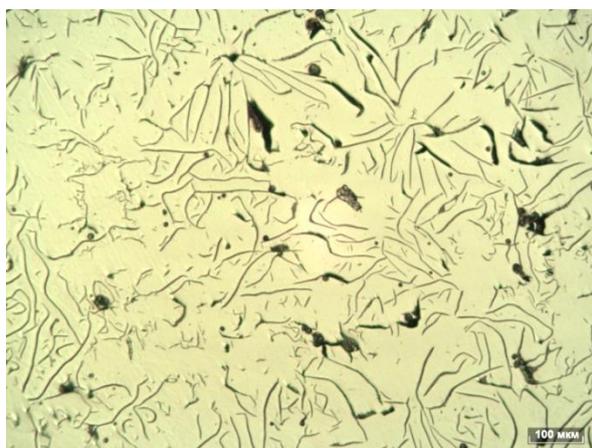
Микроструктура чугуна варианта А – с равномерно распределённым и небольшим количеством колоний пластинчатого и междендритного пластинчатого графита, преимущественно слабо завихренного и прямолинейного, с длиной включений 45-90мкм, у внутреннего рабочего края до 180 мкм, в количестве 10%. Металлическая основа: перлит пластинчатый в количестве 100% с межпластинчатым расстоянием 0,3 мкм; фосфидная эвтектика в виде отдельных включений площадью не более 2000. Если рассматривать структуру в направлении от внутреннего края к внешнему, то заметно, что у самого края и на глубину ≈ 1 мм графит имеет прямолинейную форму, затем появляются мелкие участки мелкого (ПГд 25-45) завихренного графита вперемешку с прямолинейным и затем графит становится преимущественно завихренным. По обоим краям на глубину 0,7-0,8 мм присутствует феррит \approx до 8%.

Микроструктура чугуна варианта Б – с равномерно распределённым и небольшим количеством колоний пластинчатого и междендритного

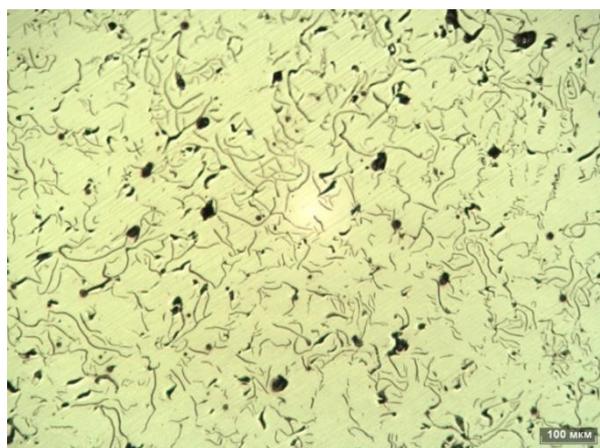
пластинчатого графита, преимущественно прямолинейного, с длиной включений 45-90 мкм, у внутреннего рабочего края до 180 мкм, в количестве 10-12%. Металлическая основа: перлит пластинчатый в количестве 100% с межпластинчатым расстоянием 0,3 мкм; фосфидная эвтектика в виде отдельных включений площадью не более 2000. По обоим краям на глубину 0,7-0,8 мм присутствует феррит \approx до 8%.

Микроструктура чугуна варианта В – с равномерно распределённым и небольшим количеством колоний пластинчатого графита, преимущественно прямолинейного, с длиной включений 45-90 мкм, у внутреннего рабочего края до 180 мкм, в количестве 12%. Металлическая основа: перлит пластинчатый в количестве 96-98% с межпластинчатым расстоянием 0,3 мкм; фосфидная эвтектика в виде отдельных включений площадью не более 2000. По обоим краям на глубину 1,0-1,2 мм присутствует феррит \approx до 8%.

В образцах Б и В прямолинейный крупный графит расположен на большую глубину, чем в образце А. Особенно много такого графита в образце В.



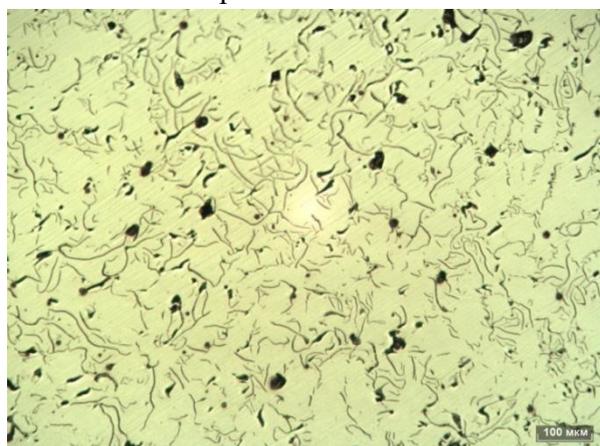
Вариант А у рабочей поверхности



Вариант А хвост



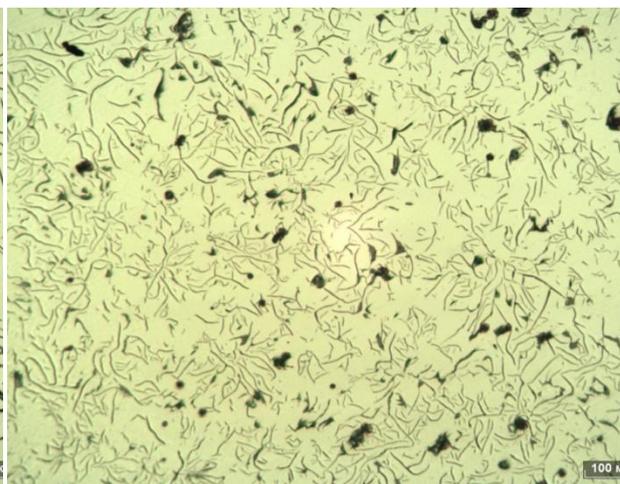
Вариант Б у рабочей поверхности



Вариант Б хвост

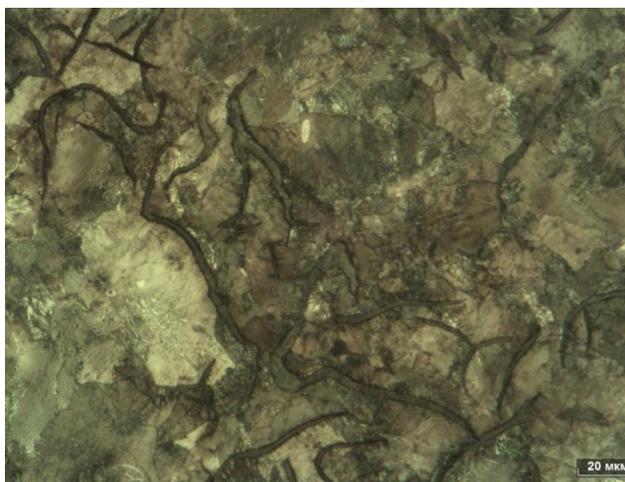


Вариант В у рабочей поверхности

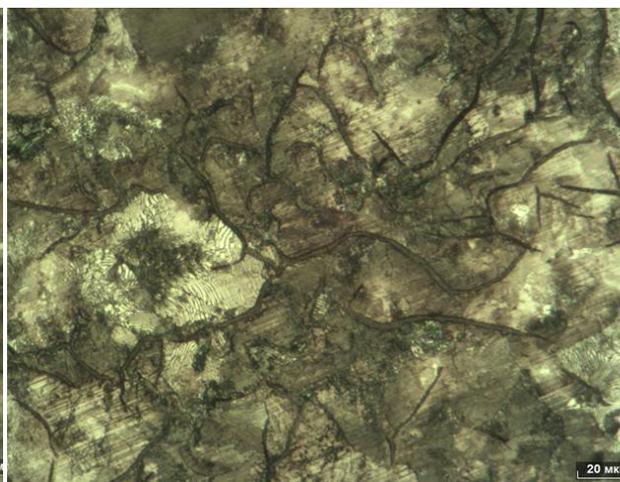


Вариант В хвост

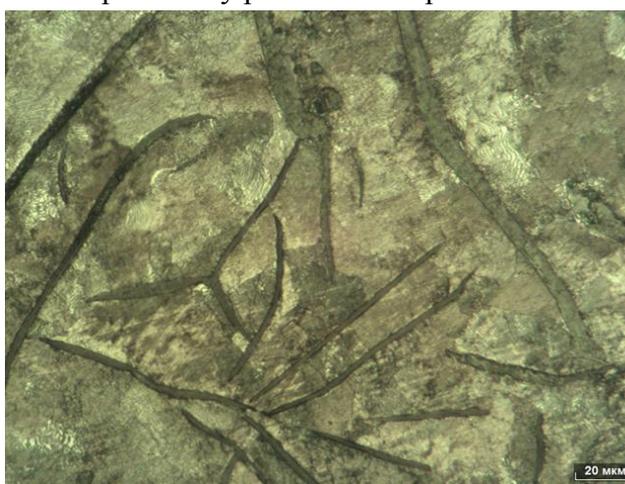
Рис. 2. Микроструктуры графита экспериментальных чугунов ×100, не травлено



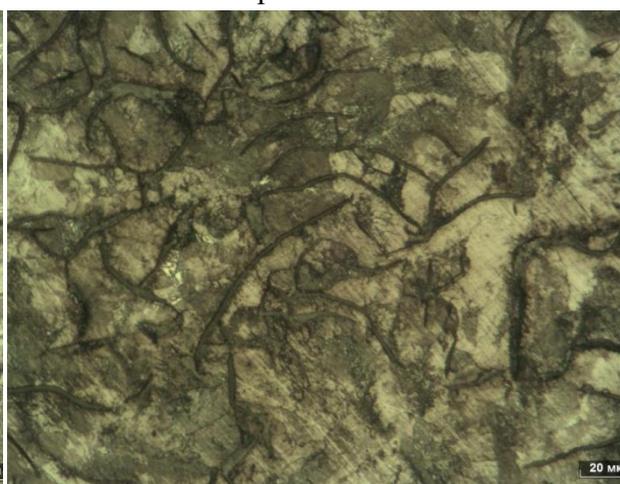
Вариант А у рабочей поверхности



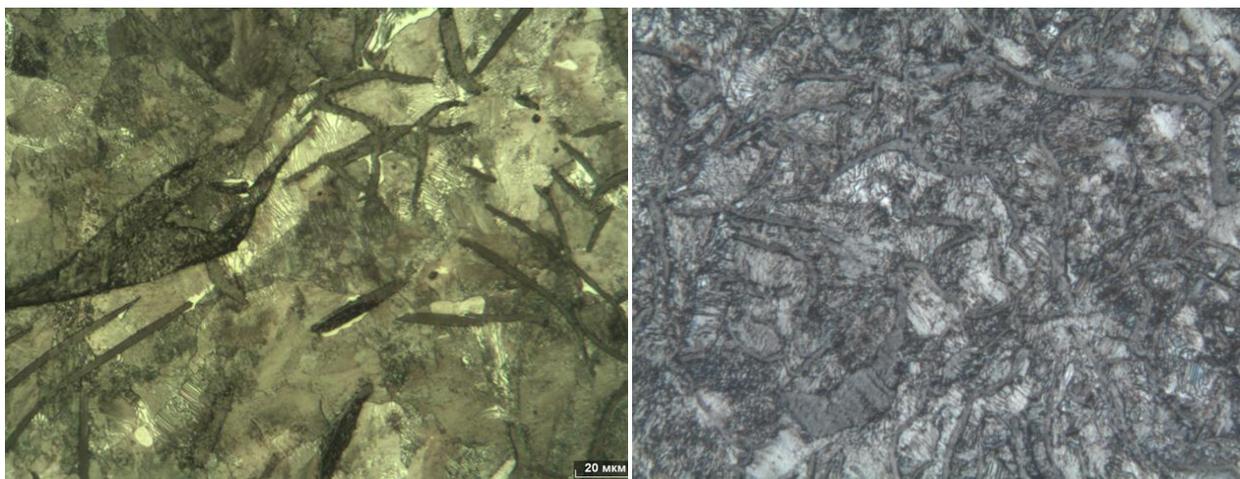
Вариант А хвост



Вариант Б у рабочей поверхности



Вариант Б хвост



Вариант В у рабочей поверхности

Вариант В хвост

Рис. 3. Микроструктуры матрицы экспериментальных чугунов $\times 500$, травлено 4% азотной кислотой

При большом увеличении видно, что во всех образцах текстура графитных включений рыхлая и на поверхности графитин – наросты в виде шариков. В образце А они преимущественно правильной формы, в Б и В правильной, неправильной и прямоугольной формы, выкрашивающиеся при грубой полировке. Во всех образцах присутствуют «компактные» включения графита, обычно выкрашивающиеся при механической или термической обработке и образующие графитную пористость. В образце А такие включения мельче и их меньше всего, больше всего наиболее крупных таких включений в образце В.

Таблица 1

Микроструктура и механические свойства экспериментальных чугунов

Образец	Графит	Матрица	σ_b	НВ
А-1	ПГф2,1 ПГр1,3,9 ПГд45-90 по рабочему краю 180 ПГ10, минимальное кол-во выкрашивающегося графита	Пт1 П(Ф0) Пд0,3 ФЭр1 ФЭп2000.	276	241
Б-1	ПГф1,2 ПГр1,3,9 ПГд45-90 по рабочему краю 180 ПГ10-12 среднее кол-во выкрашивающегося графита	Пт1 П(Ф0) Пд0,3 ФЭр1 ФЭп2000.	260	223
В-1	ПГф1,2 ПГр1,3 ПГд45-90 по рабочему краю 180 ПГ12 максимальное кол-во выкрашивающегося графита	Пт1 П98(Ф2) Пд0,3 ФЭр1 ФЭп2000.	232	207

Совместная обработка Р20 и L-cast[®]705 приводит к завихрению графита, минимальному количеству выкрашивающегося графита,

уменьшению доли графита, уменьшению обезуглероживания матрицы (уменьшению доли феррита) внешнего края. Обработка P20 приводит к улучшению качества внутренней поверхности отливок, позволяет уменьшить припуски на механическую обработку, приводит к значительному увеличению стабильности аустенита и как следствие – увеличению доли перлита, увеличению твёрдости (до требуемого уровня 241 НВ – только в варианте А), увеличению прочности.

На основании результатов экспериментальных работ было принято решение о проведении промышленных недельных испытаний по варианту А. Во время испытаний отмечено постепенное полное исчезновение в микроструктуре матрицы феррита, значительное уменьшение выкрашивающегося графита, увеличение уровня и стабильности прочности и твёрдости чугуна. Динамика изменения механических свойств чугуна отливок представлена в таблице 2.

Таблица 2

Динамика механических свойств чугуна в промышленных испытаниях

Свойство	Порядковый день опытной недели					
	1	2	3	4	5	6
σ_B	251	48	245	245	256	267
НВ	235	241	248	248	248	248

Литература

1. Управление кристаллизацией чугуна ваграночной плавки при изготовлении отливок изложниц / А.Г. Панов, Л.М. Бейлис, В.В. Аникеев, В.И. Никитин // Литейщик России. – 2011. – № 6. – С. 25-27.
2. Практика обработки карбонатами ЦЗМ расплавов дуговой плавки при изготовлении отливок из высокопрочного чугуна / А.Г. Панов, Д.А. Гуртовой // Литейщик России. – 2012. – № 8. – С. 25-27.
3. Опыт применения рафинирующе-модифицирующих материалов БСК- 2-УС и P20 в условиях чугунолитейного производства ОАО «АВТОВАЗ» / А.Н. Кулахметов [и др.] // Литейщик России. – 2014. – № 11. – С. 41-44.
4. Панов А.Г. Стабильное модифицирование высокопрочных чугунов. Метод, модификаторы, технологии // LAP LAMBERT Academic Publishing. – Saarbrücken, Deutschland. – 2013. – 342 с.

Экспериментальное исследование влияния характеристик поверхности на качество маркировки деталей

Введение

В настоящее время становятся частыми случаи недобросовестной конкуренции, когда потребителю предлагается под маркой известных изготовителей недоброкачественное изделие, изготовленное в кустарных условиях и не отвечающее эксплуатационным требованиям. Эксплуатация такого изделия может привести к трагическим последствиям, поэтому защита своего изделия от разного вида подделок является задачей актуальной и необходимой.

На сегодняшний день известно много способов защиты изделий от подделок. К наиболее распространенным видам защиты можно отнести: маркировку, гравировку, применение специальных защитных упаковок и т.д. Среди этих способов наиболее совершенным является маркировка. Однако применение различных видов маркировок в большинстве случаев не приводит к желаемому результату, поскольку они основаны на введении штрих-кодов, различных торговых марок, кодировки с помощью нанесения видимых номеров и меток и т.д., что легко воспроизводится в любых условиях. Это усложняет задачу определения фальсифицированной продукции [1].

Одним из наиболее распространенных способов кодирования является маркировка с помощью высококонцентрированных источников энергии (ВКИЭ), позволяющих повысить производительность и эффективность нанесения изображения. Способами совершенствования защиты маркировки от подделок является миниатюризация условных знаков [2], создание видимого или невидимого изображения на нерабочей поверхности детали. Как показывает опыт, для ответственных изделий целесообразно применять невидимую или малозаметную маркировку, обеспечивающую необходимую защиту авторских прав.

Скрытая маркировка может осуществляться разными способами: это изменение микроструктуры, химического состава материала, а также в последующем исчезновение изображения в процессе эксплуатации, что оставляет возможность воспроизведения путем очистки или травления поверхности [3].

Наиболее долговечным и надежным способом является изменение микроструктуры и ее последующее исчезновение в процессе эксплуатации изделия. Были проведены исследования с целью изучения свойств материалов и по определению параметров и условий нанесения скрытых меток после воздействия лазерного излучения (ЛИ). Для проведения экспериментов использовались образцы из стали Ст 45. Зона термического влияния (ЗТВ) для сталей имеет слоистую структуру, которая подробно описана во многих работах, в том числе [3, 4, 6]. ЗТВ представляет собой у поверхности твердый раствор из мартенсита, цементита и остаточного аустенита, ближе к матрице – смесь перлита и цементита. На рис. 3 показан образец после обработки лазерным технологическим комплексом «Хебр - 1200» на режимах $P=0,6$ кВт $V=1400$ мм/мин [4].

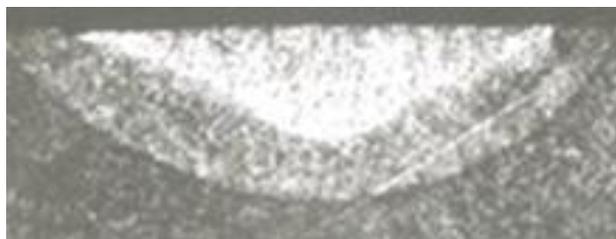


Рис. 3. Слоистая микроструктура легированной стали после обработки ЛИ (*200) глубина 0,2мм



Рис. 4. Логотип нанесенной маркировки на деталь полученный с помощью ЛИ

Анализ поверхности и поперечных разрезов образцов позволяет сделать выводы: граница раздела между матрицей и ЗТВ четкая, что характеризует изменение коэффициента отражения за счет изменения микроструктуры, разброс размеров ширины линии ЗТВ составляет менее 5% [5, 6].

На лабораторной установке АВТОМ Лазер было проведено воссоздание логотипа эмблемы КАМАЗ. На рис. 4 показан знак с двукратным увеличением. Это позволило создание изображения символа завода-изготовителя, как на деталях, используемых при сборке, так и на деталях запчастей.

Формирование марки обеспечивается траекторией перемещения ЛИ по поверхности изделия, которая является видимой в течение некоторого времени, необходимого для его установки в место предназначения. Данное время определяется химическим составом среды, в которой происходит процесс нанесения марки. При эксплуатации маркировка становится

невидимой за счет химических преобразований поверхностного слоя, причем скоростью преобразований можно управлять.

Таблица 1

Скорости окисления

Температура, °С	Fe ₂ O ₃ (ржавчина)	Fe ₂ O / FeO
норм.	10 минут и более**	2 – 4 месяца*
150 - 200	–	2-3 мкм/сутки
400	–	До 5 мкм/сутки

* время, в течение которого поверхность образца покрывается однородным слоем оксида, ** под воздействием кислот

При выходе из строя узла и необходимости выявления его изготовителя, выполняют химическую обработку известного места нанесения маркировки, с целью идентификации ее с маркой изготовителя. Для повышения достоверности процесса идентификации возникает необходимость в стабилизации заданных режимов обработки лазерным излучением. Требованиям к качеству процесса нанесения маркировки может отвечать система автоматического управления лазерным технологическим комплексом.

Заключение

Исследования взаимодействия лазерного излучения с металлами показывают, что при обеспечении определенных условий ТП происходит изменение микроструктуры и изменение коэффициента отражения поверхности. Обеспечивается невозможность удаления маркировки без видимого изменения геометрии поверхности детали, т.к. глубина маркировки достигает 200 мкм и более.

Литература

1. Об авторском праве и смежных правах: федер. закон от 9 июля 1993г. № 5351-1 (с изм. от 19 июля 1995 г.).
2. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров; под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 664 с.
3. В. В. Звездин, А. В. Хамадеев, Р. Б. Каримов, Р. Г. Загиров, Р. Р. Юсупов. Управление процессом лазерной маркировки // Проектирование и исследование технических систем: межвуз. науч. сборник – Наб. Челны, 2007. – №11. – С. 39 – 44.

4. Синтез автономных автоматных моделей для статистического моделирования / В. А. Песошин, В. И. Глова, В. М. Захаров // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева, 1997. – Вып. 4.

5. Филачев, А.М. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы/ А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Тришенков. – М.: Физматкнига, 2005. – 384 с.

6. В. В. Звездин, А. В. Хамадеев, Р. К. Фардиев, Д. А. Башмаков, Д. И. Исрафилов. Влияние модового состава лазерного излучения на зону термического воздействия в металлах // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. —№ 2, 2007. – С. 84- 85.

Розенцвайг А.К.,

д-р техн. наук, профессор

Страшинский Ч.С.,

канд. техн. наук, доцент

Механизмы элементарных физических явлений процессов теплообмена в жидкостных эмульсиях

Введение

При кипении эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой условия теплообмена существенно усложняются, поскольку за счёт энергии динамических и вязких сил потока сплошной среды происходит укрупнение достаточно мелких и разрушение чрезмерно крупных капель дисперсной фазы. Под воздействием турбулентных пульсаций и вязких сдвиговых напряжений капли дисперсной фазы способны деформироваться вплоть до полного разрушения [1].

Моделирование состава и структуры перекрестных процессов переноса совокупностью элементарных физических явлений. Перенос теплоты охлаждающими эмульсиями определяется не только физико-химическими характеристиками фаз и их температурными зависимостями. В условиях турбулентного движения существенный вклад принадлежит характерным для жидкостных систем процессам коалесценции и дробления капель дисперсной фазы. Предварительная информация относительно физической природы таких явлений обычно представлена феноменологическими моделями. Общие балансовые соотношения для механических и термодинамических характеристик приводятся к форме безразмерных критериев. Модель принимает форму соотношения между

основными безразмерными комбинациями независимых переменных или критериями подобия $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$:

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_n). \quad (1)$$

Если априорные представления являются достаточно полными, оно представляет общую форму ожидаемой взаимосвязи между ними [2].

Элементарные физические явления выражают наиболее простые соотношения с одним критерием, которые носят универсальный характер:

$$f(\Pi_1) = const. \quad (2)$$

Если реальный процесс не может быть представлен только одним явлением, то в этом случае независимую переменную исходной модели, с которой связано влияние дополнительного механизма, заменяют эффективной величиной, включающей связанный с ним критерий подобия.

Можно модифицировать переменную, скажем x , исходной модели с помощью степенного выражения: $x_s = x \cdot \Pi_2^\gamma$, где Π_2 – дополнительный критерий, представляющий взаимосвязанный механизм процесса переноса. Величина константы подбирается таким образом, чтобы расширенная модель

$$f[\Pi(x \cdot \Pi_2^\gamma)_1] = const \quad (3)$$

отражала эмпирическую корреляционную связь этой переменной x . При этом достигается необходимая полнота представлений о физической природе изучаемого явления, что является поводом для модификации модели.

Эффективность возможных механизмов элементарных физических явлений, а также их взаимное влияние находится в прямой зависимости от граничных и начальных условий. В конечном итоге такая методика позволяет формировать модели структуры сложных процессов переноса [3].

Характер разрушения перегретых капель дисперсной фазы. Важной особенностью разрушения перегретых капель под воздействием турбулентных пульсаций скоростей сплошной среды является наличие в них избыточной тепловой энергии. Очевидно, что этот фактор снижает вероятность сохранения целостности капель дисперсной фазы, которую обеспечивает энергия поверхностного натяжения. Известно, что как при турбулентном, так и ламинарном режиме движения капли дисперсной фазы способны сталкиваться, деформироваться и разрушаться динамическими и вязкими силами потока эмульсии [1]. Поэтому обычный состав факторов, инициирующих вскипание капель дисперсной фазы, необходимо дополнять гидродинамическими факторами, с которыми связаны деформация и дробление дисперсной фазы эмульсии.

В изотермических условиях устойчивость капель дисперсной фазы согласно модели Колмогорова - Хинце связана, главным образом, с межфазным натяжением и соотношением вязких сил и турбулентных пульсаций сплошной среды [4,5]:

$$d_{\max} = C_1 (\sigma / \rho_c \bar{v}^2), \quad d_{\max} > \lambda_0, \quad (4)$$

$$d_{\max} = C_2 (\sigma / \mu_c (\partial \bar{v} / \partial r)), \quad d_{\max} < \lambda_0. \quad (5)$$

где σ – межфазное натяжение, ρ_c – плотность сплошной среды, \bar{v} – осредненная скорость турбулентных пульсаций, λ_0 – микромасштаб турбулентных пульсаций, C_1, C_2 – экспериментальные константы.

Обобщение разрушения на неизотермические условия дробления низкокипящей дисперсной фазы в рамках основной модели (5) состоит в дополнении энергии внутренних турбулентных пульсаций давления тепловой энергией перегрева капель, которая определяется работой по образованию пузырька критического размера. Идентичность состояний перегрева и растяжения (кавитации) жидкостей, способствующих повышению экспериментально изученной частоты зародышеобразования в этой работе, позволяет заменить исходный диаметр при дроблении капель d_{\max} в соотношении (5) размером $d_{\max t}$, соответствующим гидротермодинамическому разрушению капли:

$$d_{\max t} = d_{\max} (A_{\text{меин}} / A_{\text{мырб}})^{\gamma}, \quad (6)$$

где $A_{\text{меин}} \sim W_0(\Delta T, p)$ – работа по образованию парового зародыша критического размера в перегретой и деформированной капле [6].

Ограничиваясь случаем мелкодисперсных капель с диаметром $d_{\max t} < \lambda_0$, работа вязких сил сдвиговых напряжений турбулентных пульсаций в потоке эмульсии выражается как $A_{\text{мырб}} \sim \mu_c (\partial \bar{v} / \partial r) d_{\max t}$.

Таким образом, исходное выражение (5) принимает следующий вид:

$$d_{\max t} = C_3 (\sigma / d_{\max t} \mu_c (\partial \bar{v} / \partial r)) / (W_0(\Delta T, p) / \mu_c (\partial \bar{v} / \partial r) d_{\max t}^3)^{\gamma}. \quad (7)$$

Соотношение (7) можно преобразовать следующим образом:

$$(\mu_c (\partial \bar{v} / \partial r) d_{\max t} / \sigma)^{\alpha} (\mu_c (\partial \bar{v} / \partial r) d_{\max t}^3 / W_0(\Delta T, p))^{\beta} = C_4, \quad (8)$$

где $\gamma = \beta / \alpha$.

Градиентное разрушение капель эмульсии с низкотемпературной дисперсной фазой в турбулентном потоке. Рассмотрим течение эмульсий в однородном турбулентном потоке в трубопроводе. При допущении

локальной изотропности Бэтчелор получил для осредненного градиента турбулентных пульсаций выражение [7, 8]:

$$\overline{\partial v / \partial r} = \sqrt{2\varepsilon / 15\nu_c} . \quad (9)$$

где ν_c - кинематическая вязкость сплошной среды, ε - скорость диссипации энергии на единицу массы жидкости.

При движении по трубопроводу скорость диссипации энергии на единицу массы жидкости выражается следующим балансовым соотношением:

$$\pi \cdot D^2 \cdot l \cdot \rho_c \cdot \varepsilon / 4 = \tau_w \cdot \pi \cdot D \cdot l \cdot u_0 , \quad (10)$$

где $\tau_w = \lambda \cdot \rho_c \cdot u_0^2 / 8$ - напряжение вязкого трения на стенках трубопровода, λ - коэффициент гидравлического сопротивления, D и l - диаметр и длина трубопровода, u_0 - средняя по расходу скорость в трубопроводе.

В явном виде получим следующее выражение:

$$\varepsilon = \lambda \cdot u_0^3 / 2 \cdot D . \quad (11)$$

Окончательно зависимость для скорости диссипации энергии с учетом формулы Блазиуса для гидравлического сопротивления $\lambda = 0,3164 / Re^{0,25}$,

где $Re = u_0 \cdot D \cdot \rho_c / \mu_c$ - число Рейнольдса, принимает вид:

$$\varepsilon = 0.158 \cdot \mu_c^{0,25} \cdot u_0^{2,75} / D^{1,25} \cdot \rho_c^{0,25} . \quad (12)$$

Уравнение (8) после преобразований с учётом соотношений (9) и (12) примет вид

$$d_{\max} = C_5 \sigma^{\frac{\alpha}{(\alpha+3\beta)}} W_0(\Delta T, p)^{\frac{\beta}{(\alpha+3\beta)}} D^{\frac{0,625(\alpha+\beta)}{(\alpha+3\beta)}} \mu_c^{\frac{0,375(\alpha+\beta)}{(\alpha+3\beta)}} / \rho_c^{\frac{0,375(\alpha+\beta)}{(\alpha+3\beta)}} u_0^{\frac{1,375(\alpha+\beta)}{(\alpha+3\beta)}} . \quad (13)$$

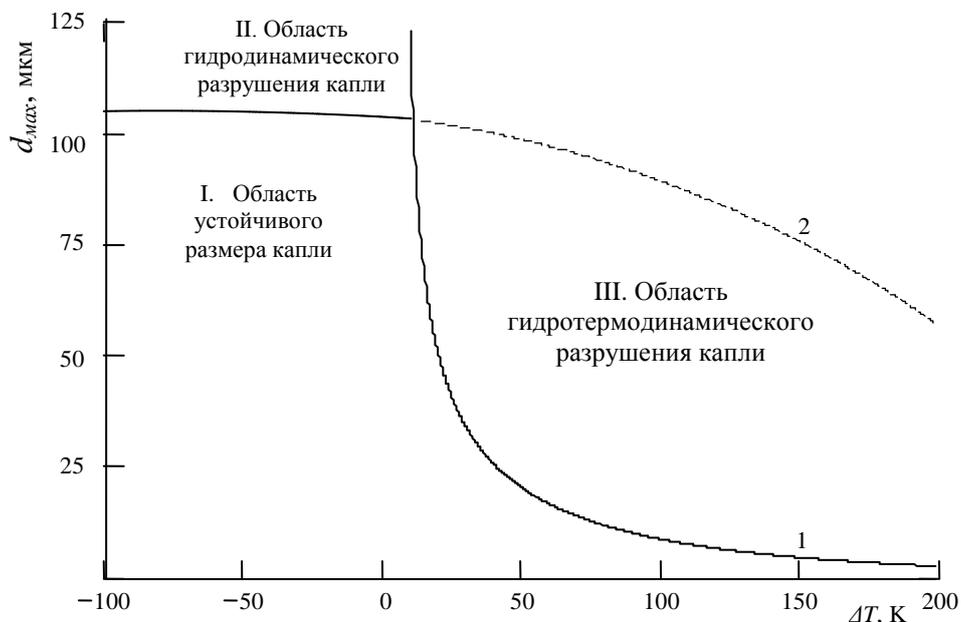
Величина показателей степени α и β находится путем согласования окончательной зависимости с априорными общепринятыми представлениями о важных характеристиках процесса дробления [1]. Так, в качестве примера рассмотрим установленную Колмогоровым и подтвержденную многочисленными экспериментальными работами взаимосвязь для условий однородного турбулентного потока:

$$d_{\max} \sim u_0^{-1,2} . \quad (14)$$

Тогда искомая величина для частных условий однородной турбулентности $\alpha = 12.46\beta$.

С учетом этого условия выражение (6) представляет механизм совместного термогидродинамического разрушения дисперсной фазы эмульсии:

$$d_{max} = C_5 \sigma^{0.8} W_0 (\Delta T, p)^{0.8} D^{0.87} \mu_c^{0.33} / \rho_c^{0.33} u_0^{1.2}. \quad (15)$$



Зависимость максимальных диаметров d_{max} капель дисперсной фазы от температурного перегрева (градиентное гидротермодинамическое разрушение капли) – 1 и (градиентное гидродинамическое разрушение капли) – 2 от температурного перегрева ΔT при давлении $P = 10^5$ Па эмульсии вода - кремнийорганическая жидкость ПЭС-5

На рисунке представлены модельные расчеты зависимости максимального диаметра капель в эмульсии «вода - кремнийорганическая жидкость ПЭС-5» от температурного перегрева для двух режимов разрушения (5) и (15) при давлении $P = 10^5$ Па. Характер кривых, представленных на рисунке, позволяет получить следующие качественные результаты. Кривая 1, представляющая гидротермодинамический режим разрушения, находится в хорошем качественном соответствии с результатами экспериментальных данных [9]. Область I ограничивает размеры капель, устойчивых по отношению к разрушению. Кривая 2 представляет гидродинамический режим дробления в изотермических условиях. Область II выше этой кривой и слева от кривой 1 ограничивает гидродинамическое разрушение капель турбулентными пульсациями.

Наконец, область III является областью совместного гидротермодинамического разрушения капель турбулентными пульсациями и избыточной тепловой энергии перегрева.

Заключение

Получена модель разрушения перегретых капель дисперсной фазы в турбулентном потоке охлаждающей эмульсии с учетом температуры. Выделены области термогидродинамических параметров с различными режимами разрушения капель, обусловленными механизмами элементарных физических явлений. Характер взаимосвязи этих явлений существенно расширяет физические представления о режимах кипения и эффективности теплоотдачи в жидкостных эмульсиях.

Литература

1. Розенцвайг А.К. Дробление капель в турбулентном сдвиговом потоке разбавленных жидкостных эмульсий // Журнал ПМТФ. – 1981. – № 6. – С.71-78.
2. Розенцвайг А.К., Страшинский Ч.С. Дробление низкокипящей дисперсной фазы в турбулентном потоке охлаждающей эмульсии // Журнал прикладной химии. – 2009. – Т.82, №8. – С. 1314-1319.
3. Розенцвайг А.К. Энергосберегающие структуры процессов переноса в сложных дисперсных системах: автореф. докт. дис. Казань: КГЭУ, 2004. – 32 с.
4. Колмогоров А.Н. О дроблении капель в турбулентном потоке// Докл. АН СССР. – 1949. – Т.66, № 5. – С. 825-828.
5. Hinze J.O. Fundamentals of hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes // A.I.Ch.E. Journal. – 1955. – V.I, n 3. – P. 289-295.
6. Скрипов В.П. Метастабильная жидкость. М.: Наука. – 1972.– 312 с.
7. Конт-Белло Ж. Турбулентное течение в канале с параллельными стенками: пер. с франц. – М.: Мир, 1968. – 176 с.
8. Shinnar R.J. On behavior of liquid dispersion in mixing vessels // Journal of Fluid Mech. – 1961. – Vol. 10, No.2. – P. 259-275.
9. Буланов Н.В., Гасанов Б.М. Особенности кипения эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой // ИФЖ. – 2006. – Т. 79, №6. – С. 81-84.

Рябов Е.А.,
ассистент,
Юрасов С.Ю.,
канд. техн. наук, доцент

Особенности конструкторского и технологического подходов к проектированию твердотельных моделей концевых фрез в среде NX

К проектированию твердотельной модели в современных условиях прибегают в основном для следующих целей: получения последующего чертежа изделия, наглядного представления будущей конструкции, создание в модулях САМ управляющей программы обработки и для инженерных расчётов путём конечно-элементного анализа в САЕ системах. Также твердотельные модели находят применение в изучении собираемости узла, в составе которого будет деталь, анализе на технологичность, составлении автоматизированных технологических процессов её создания. Само проектирование осуществляется в САД модулях. Одним из направлений проектирования для однотипных изделий различных типоразмеров является его разновидность – параметрическое моделирование. К таким изделиям относится инструмент. По причине большого количества взаимосвязанных параметров инструмента при построении поверхностей крайне желательно использовать выражения, связывая параметры в пределах модели. Основными проблемами [2] параметрического моделирования является непостоянство существования поверхностей при некоторых значениях параметров и зависимость геометрии от истории построения. При проектировании инструмента в большинстве случаев сама поверхность существует постоянно, изменяются лишь её геометрические параметры.

В рассмотрении процесса создания твердотельной модели инструмента можно выделить два основных подхода: конструкторский и технологический. Конструкторский подход обуславливается тем, что конечный профиль инструмента образуется путём построения ряда примитивов с булевой операцией «объединение», или, иначе говоря, этот подход, предусматривает появление тела из ничего. Технологический подход подразумевает получение конечного профиля с применением булевой операции «вырезание», когда часть профиля отсекается от заготовки изделия, этот подход предусматривает появление тела из заготовки. В большинстве случаев для удобства проектирования используют комбинированный метод, но на основании конструкторского

подхода получения модели из ничего из-за более простых методов получения сложных поверхностей. Разница в окончательном профиле при разных подходах моделирования незначительна для большинства деталей. Основной причиной дифференцирования подходов служит наличие у моделей инструментов острых углов и условно-тонкостенных элементов на концах режущей кромки, которые могут иметь различные значения при разных способах параметризации. Для остальных деталей технологический подход так же условно используется при расчёте управляющих программ в модулях САМ.

Рассмотрим создание параметрических моделей концевой радиусной фрезы. Основными конструктивными параметрами выбранной фрезы будет постоянство угла наклона режущей кромки, постоянство переднего угла в торцевом сечении, режущие кромки сходятся к центру.

Разность в подходах параметрического моделирования для концевой радиусной фрезы обусловлена технологическим процессом создания этих фрез. В современных условиях многие крупные производители шлифовально-заточных станков, такие как MICHAEL DECKEL, ANCA, UT.MA, ВИЗАС используют диалоговый режим получения инструмента. Математическая модель инструмента при этом является интеллектуальной собственностью компании-производителя оборудования. При изучении конструкции будущего инструмента методом конечно-элементного анализа с целью выявления оптимальных режимов работы для выбранных материалов необходимо использовать модель реального инструмента, что актуализирует технологический подход к моделированию данных фрез.

В конструкторском подходе параметрическая твердотельная модель инструмента будет представлять из себя параметризованный контур в торцевом сечении, выдавленный командой «Заметаемая поверхность вдоль параметризованных направляющих».

Контур представим в виде эскиза:

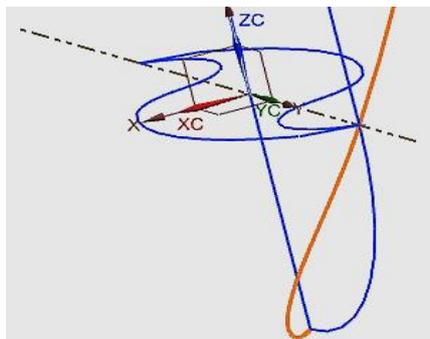


Рис. 1. Направляющая спираль режущей кромки

В технологическом подходе профиль фрезы будет получаться путём вырезания из заготовки, столбика с радиусом на конце, параметризованного профиля исходной инструментальной поверхности инструмента второго порядка вдоль параметризованной траектории движения данного инструмента.

Сложность в использовании конструкторского подхода создания параметрической модели фрезы обусловлена отсутствием на сегодняшний день однозначной параметрической модели дна стружечной канавки. Недостатком технологического подхода является неоднозначность профиля исходной инструментальной поверхности и получаемого профиля.

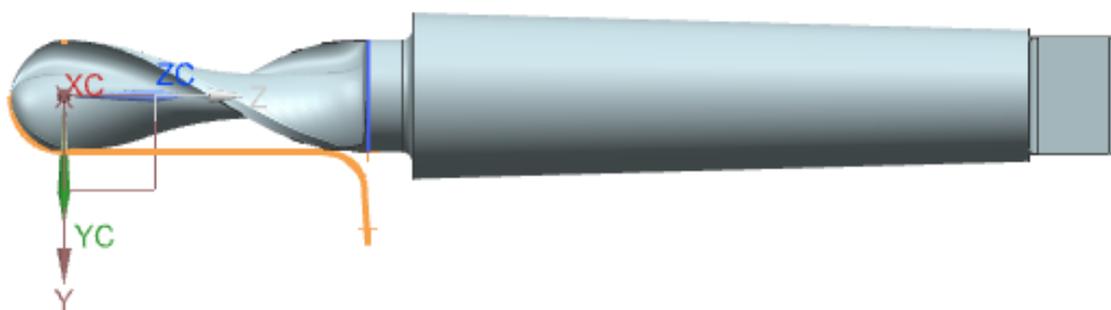


Рис. 2

Литература

1. ЩЁКИН А.В., МИТИН Э.В. Использование параметрических моделей режущих инструментов и станочных приспособлений при моделировании обработки на станках с ЧПУ // АВТОМАТИЗАЦИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. – 2013. – №11. – С. 9-15.

2. Ушаков Д.М. Как создавать редактируемые модели в параметрических САД [Электронный ресурс]// Isicad.ru2014. №117URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16704 (дата обращения: 18.04.2014).

3. Иванов С.Е. Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства/Часть 5. Системы инженерного расчета и анализа деталей и сборочных единиц» Под ред. Куликова Д. Д. Учебно-методическое пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 48 с.

Карбид кремния как науглероживатель в процессе получения СВС-литейного чугуна

На литейном заводе ОАО «КАМАЗ» при получении расплава чугуна для отливок широкое распространение в качестве покупного шихтового материала получил литейный чугун марки ЛЗ. Данный материал относится к классу чугунов высокого качества, в которых химический состав по содержанию элементов: углерода, кремния, марганца, фосфора, серы – гарантирован следующими уровнями, % (массовая доля): С 2,5 – 3,5; Si 2,4 – 2,8; Mn 0,2 – 0,9; P не более 0,8; S 0,02 – 0,05. Это обстоятельство обуславливает стабильность свойств металла получаемых отливок и повышение их себестоимости. Однако последнее может быть нивелировано в условиях функционирования ОАО «КАМАЗ». Дело в том, что производственная деятельность ряда заводов указанного общества сопровождается образованием отходов дисперсного вида, которые могут быть использованы для получения литейного чугуна марки ЛЗ. Такими отходами являются кузнечная окалина и алюминиевая стружка. Эти материалы представляют собой окислитель и восстановитель, если инициировать их взаимодействие. Причём необходимо отметить, что основным восстановителем является алюминий, который, окисляясь оксидами железа, производит большое количество тепловой энергии (15,8 кДж/г Al [1, с. 27]), достаточное для протекания процессов синтеза литейного чугуна в самораспространяющемся режиме. Указанные выше реагенты, использованные нами для осуществления самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), имели следующий химический состав, % (массовая доля): кузнечная окалина (FeO – 12,1; Fe₂O₃ – 87,1; MnO – 0,6; SiO₂ – 0,2), силуминовая стружка АК18 (Si – 18,2; Cu – 0,9; Mg – 1,2; Ni – 0,9).

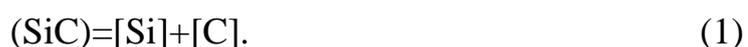
Синтезирование литейного чугуна ЛЗ предопределяет создание комплекса элементов: железо, углерод, кремний, марганец. Наличие вредных элементов серы и фосфора ограничено. Основой синтезируемого сплава является железо, источником которого является кузнечная окалина, содержащая этот элемент в окисленном виде в количестве порядка 70 %. Использование кузнечной окалины является весомой гарантией получения качественного литейного чугуна с низким содержанием вредных элементов.

Силуминовая стружка АК18, являющаяся восстановителем в СВС-процессе, поставляет синтезируемому сплаву кремний. Синтезируемый литейный чугун должен содержать углерод. С этой целью в шихту процесса СВС закладывается графитовая стружка. Для проведения СВС-процесса составили следующую шихту: кузнечная окалина, силуминовая стружка, аммиачная селитра, графитовая стружка. Массовое соотношение отдельных компонентов между собой в порядке, написанном выше, было следующим 1:0,39:0,29:0,06. Данное соотношение определилось исходя из следующих соображений: 1 обеспечение в синтезируемом литейном чугуне состава элементов согласно требуемому; 2 полное разделение между собой металлической и шлаковой фаз. Последнее обстоятельство обеспечивается достаточной термичностью шихты, которая в данном случае была равна 3,5 МДж/кг. В состав шихты процесса СВС была включена аммиачная селитра. Сделано это с той целью, чтобы окислить избыточное количество кремния, содержащееся в силуминовой стружке АК18, относительно заданного его количества в литейном чугуне ЛЗ.

С указанным выше составом шихты процесса СВС было проведено 6 опытных плавов, в которых был получен синтетический металлический сплав следующего химического состава, % (массовая доля): С 0,7 – 1,1; Si 2,5 – 2,7; Mn 0,4-0,6; S 0,015 – 0,028; P 0,017 – 0,019. Кроме указанных элементов, в синтетическом сплаве были обнаружены также Ni 0,55 – 0,66 %; Cu 0,69 – 0,91%; Mo 0,19 – 0,22%. Таким образом, СВС-металл из дисперсных отходов металлургии и машиностроения оказался не только чистым по содержанию вредных примесей, но и унаследовал от них (в частности из силуминовой стружки АК18) ценные легирующие элементы, которые, несомненно, будут способствовать приданию металлу отливок высокого качества.

Однако следует отметить, что синтезируемый металл не соответствует литейному чугуну ЛЗ по содержанию углерода, которого в нём существенно ниже требуемого. Проведенные опытные плавки показали, что несмотря на высокое содержание в шихте графитовой стружки (в 2 раза превышающее по стехиометрическим соображениям), процесс науглероживания не удовлетворял требований по содержанию углерода в синтезируемом металле. В этой связи был предложен другой науглероживатель – карбид кремния, который положительно себя зарекомендовал в этой функции [2, с. 30].

Науглероживающее действие карбида кремния основано на протекании следующей реакции:



Эффективность науглероживания железа определяется глубиной протекания реакции (1). С этой целью данная реакция была подвергнута термодинамическому анализу. Для этого использовались данные по термической устойчивости карбида кремния [3, с.243], условиям образования раствора кремния и углерода в железе [4, с. 174]. В результате анализа были получены температурные зависимости изменения энергии Гиббса (2) и константы равновесия (3):

$$\Delta G_T^0 = 40040 - 132,33T, \quad (2)$$

$$\lg K = 6,926 - 2094,9/T. \quad (3)$$

СВС–процесс протекает при высокой температуре более 2273 К. Учитывая это, значение константы равновесия реакции (1), рассчитанное по уравнению (3), оказывается настолько большим (более 10^6), что равновесие обсуждаемой реакции практически необратимо смещено в сторону образования её продуктов.

Следует отметить, что переход кремния в железо является нежелательным, так как эта функция сполна выполняется силуминовой стружкой. Поэтому ввод карбида кремния в шихту СВС-процесса должен сопровождаться совместно с окислителем – аммиачной селитрой в массовом соотношении друг с другом 1:4. Это позволит окислить кремний и обеспечить переход углерода в металл.

С целью проверки науглероживающей способности карбида кремния в высокотемпературном синтезе литейного чугуна ЛЗ были проведены опытные плавки шихты, в которой вместо графитовой стружки вводилась смесь карбида кремния и аммиачной селитры в массовом соотношении 1:4. Массовое соотношение компонентов шихты СВС-процесса было следующим: кузнечная окалина: силуминовая стружка: аммиачная селитра: смесь карбида кремния с аммиачной селитрой = 1:0,39:0,29:1. С указанным составом шихты было проведено 8 плавов. Анализ металла показал следующие результаты, % (массовая доля): С 2,5 – 3,3; Si 2,7 – 2,9; Mn 0,3-0,5; S 0,014 – 0,025; P 0,015 – 0,018; Ni 0,54 – 0,68 %; Cu 0,69 – 0,89 %; Mo 0,17 – 0,21 %. Таким образом, использование в шихте СВС-процесса смесь карбида кремния с аммиачной селитрой в массовом соотношении между собой 1:4 вместо графитовой стружки позволило науглеродить металл до уровней, соответствующих содержанию углерода в литейном чугуне ЛЗ. Полученный металл следует считать легированным, так как в нём присутствуют такие ценные элементы, как никель, медь, молибден.

Предложенный способ рециклирования дисперсных отходов, образующихся на заводах ОАО «КАМАЗ», путём синтезирования из них качественного литейного легированного чугуна ЛЗ СВС-процессом позволит отказаться от закупок этого материала и способствовать повышению качества выплавляемого чугуна для отливок. При этом следует отметить также и энергосберегающий эффект.

Литература

1. Возможности восстановления железа при электродуговой плавке стали и регулировка теплового баланса печи / В.А. Коровин, Т.Д. Курилина, П.П. Степанов // Сталь. – 2014. – № 12. – С. 26 - 28.
2. Исследование и оптимизация технологии науглероживания стали при выплавке с использованием полупродукта ДСП / М.В. Зуев, С.П. Бурмасов, А.Г. Гудов, А.В. Мурзин // Сталь. – 2014. – № 6. – С. 25 - 30.
3. Тургдоган Е.Т. Физическая химия высокотемпературных процессов / пер. с англ. Ю.И. Уточкина, В.И. Симонова; под ред. В.А. Григоряна. – М.: Металлургия, 1985. – 344с.
4. Физико-химические расчёты электросталеплавильных процессов: учеб. пособие для вузов / В.А. Григорян, А.Я. Стомахин, А.Г. Пономаренко [и др.]. – М.: Металлургия, 1989. – 288 с.

Ступко В.Б.,

канд. техн. наук, доцент,

Лунев А.Н.,

д-р техн. наук, профессор,

Петров С.М.,

канд. техн. наук, доцент

Анализ обрабатываемости материалов и предельных режимов резания для концевых фрез

Основное место в производственном процессе машиностроительной промышленности занимает обработка металлов резанием. Трудоемкость процессов механической обработки составляет примерно 37% трудоемкости всех видов технологических процессов, используемых в машиностроении [1]. Поэтому значительное снижение трудоемкости

изготовления изделий может быть достигнуто на основе интенсификации процесса резания.

Одним из эффективных путей интенсификации металлообработки резанием, повышения производительности и снижения себестоимости выполнения операции является применение рациональных способов формообразования и ведение процесса резания на оптимальных режимах. Опыт показывает, что только внедрение оптимальных режимов резания позволяет повысить производительность станков в среднем на 20% и снизить себестоимость обработки на 15-20%.

Расчет оптимальных режимов резания для применяемых на практике многочисленных сочетаний материалов и операций с помощью различных нормативов и справочных материалов ручными методами переработки информации является очень трудоемким, практически невыполнимым в производственных условиях процессом.

В настоящее время широкое развитие получили методы оптимизации на основе применения ЭВМ, использование которых позволяет значительно ускорить процесс расчета и повысить производительность обработки. Однако анализ состояния вопроса показал, что в настоящее время методов автоматизированного расчета оптимальных режимов резания при обработке деталей на фрезерных станках с ЧПУ, пригодных для широкого практического использования, не имеется. Существующие модели оптимизации носят слишком общий характер, не имеют связи с конкретной обрабатываемой поверхностью и способами ее обработки (схемой движений инструмента). Кроме того, в настоящее время на недостаточно высоком уровне решены вопросы расчета жесткостных и прочностных характеристик концевых фрез; максимально возможной подачи и предельных сочетаний параметров глубины и ширины резания, допустимых парой "обрабатываемый материал - режущий инструмент" при черновой обработке.

В результате теоретических и экспериментальных исследований установлены: зависимости предельной подачи, допустимые стойкостью и прочностью фрезы; предельные сочетания параметров глубины и ширины резания, допустимые прочностью (жесткостью) фрезы; эмпирические зависимости, позволяющие учитывать влияние деформации шпиндельного узла и переходной втулки на точность обработки; рациональные способы фрезерования плоскостей, ограниченных контурными поверхностями (стенками).

В нашей стране теоретические и методические основы расчета оптимальных режимов резания с использованием ЭВМ применительно для

одноинструментальной обработки на металлорежущих станках впервые были опубликованы в книгах Г.К. Горанского [2], а применительно к многоинструментальной обработке – в статье А.М. Гильмана и др. [3]. В этих работах задача расчета режимов резания сформулирована как задача математического программирования, какой она представляется и сегодня. Г.К. Горанский задачу оптимизации режимов резания свел к задаче линейного программирования, а А.М. Гильман – к задаче нелинейного программирования. Большинство опубликованных в последующие годы материалов по методам расчета оптимальных режимов резания находятся в рамках идей, сформулированных указанными авторами.

Разработаны: метод поиска предельных (оптимальных) сочетаний подачи, глубины и ширины резания; аналитические методы расчета прочности и деформации фрезы; математическая модель процесса фрезерования; методика оптимизации режимов резания применительно к типовым обрабатываемым поверхностям.

Процедура оптимизации и автоматизации расчета режимов резания включает в себя следующие этапы:

- формирование целевой функции (критерий оптимизации);
- установление уравнения технических ограничений режимов резания;
- формализация (кодирование) исходной информации; разработка алгоритмов расчета режимов резания; составление программы решения задачи для ЭВМ.

Целевая функция представляет собой аналитическую зависимость между экономическими показателями (стоимость, производительность и т.д.) и подлежащими оптимизации параметрами резания.

Уравнения технических ограничений устанавливают взаимосвязь между показателями обработки (точность, шероховатость, стойкость инструмента и др.) и оптимизируемыми параметрами.

Совокупность уравнений технических ограничений и целевой функции представляют математическую модель процесса резания, на основе которой осуществляется поиск оптимальных параметров резания.

Хотя теоретические основы взаимозависимости параметров резания достаточно изучены, методы оптимизации и автоматизации их расчета известны, однако при использовании их на практике встречаются значительные трудности. Главная из них состоит в том, что при обработке конкретной детали возникают различные дополнительные ограничения, связанные с особенностями операции, перехода, геометрической формы

обрабатываемой поверхности, с непостоянством снимаемого припуска и т.д. Без учета указанных факторов методы исходят из фиктивных предпосылок, не соответствующих реальным технологическим условиям обработки.

К числу недостатков существующих методов, имеющих непосредственное отношение к решаемой задаче, можно отнести следующее:

- при оптимизации режимов резания не учитываются глубина и ширина резания;
- оптимизация осуществляется без учета предельных значений подач, допустимых при предварительной обработке;
- методы оптимизации носят слишком общий характер, не имеют связи с формой поверхностей деталей и способами их обработки (схемами движения инструмента).

В зарубежной литературе имеются многочисленные публикации, посвященные расчету оптимальных режимов резания [4]. Рассматриваются различные вопросы, связанные с оптимизацией параметров резания, причем особое внимание уделяется выбору методов решения задачи, целевой функции и стратегии оптимизации параметров резания с учетом практической значимости влияния их на технико-экономические показатели. В качестве критерия оптимизации в основном используется наименьшая себестоимость операции (максимальная прибыль) и максимальный объем металла, снимаемый в единицу времени (максимальная производительность). При выборе режимов резания для станков с ЧПУ предпочтение отдается критерию максимальной производительности. Оптимизации в основном подвергаются глубина резания, подача и скорость резания, а в ряде работ учитывается и ширина резания. С точки зрения подхода к решению задачи и методических основ, опубликованные материалы не содержат принципиальных отличий от изложенных в отечественной литературе

Эффективность оптимизации зависит от правильного выбора критерия оптимизации (целевой функции), при помощи которого оценивается принятое решение. Основными экономическими показателями (критериями), используемыми при оптимизации режимов резания на металлорежущих станках, являются:

- минимальная себестоимость технологической операции, приведенных хозрасчетных и народнохозяйственных затрат;

- максимальная производительность обработки или максимальный съем металла в единицу времени;
- максимальное использование станка и инструмента и др.

Жесткость и прочность инструмента являются решающими факторами, ограничивающими режимы резания. Жесткость инструмента j определяется как отношение прилагаемой силы P_y к величине перемещения δ в направлении действия нагрузки: $j = \frac{P_y}{\delta}$. При обработке на фрезерных станках с ЧПУ основным видом инструмента являются концевые фрезы. Рассматривая фрезу как консольную балку, зависимости для расчета прогиба фрезы в общем виде можно представить как

$$\delta = P_y l^3 / 3EJ,$$

где l – длина вылета фрезы, мм;

E – модуль упругости, кг/мм²;

J – момент инерции, мм⁴.

Сложность конфигурации режущей части фрезы вызывает значительные трудности при определении моментов инерции, чем и объясняется отсутствие теоретических методов их расчета.

Хотя экспериментальные методы определения жесткостных характеристик фрезы просты, использование их в производстве для испытания многочисленных типоразмеров фрез очень затруднительно. Для автоматизации расчета режимов резания необходимо найти методы, которые позволили бы определить жесткостные и прочностные параметры фрез по программе на ЭВМ.

В существующих методах расчета режимов резания, как было сказано ранее, оптимизации подвергаются в основном только подача и скорость резания, а глубина и ширина резания, т.е. основные параметры, от которых зависит производительность обработки и качество изготовления детали, задаются технологами. При этом, как показывает анализ, допускается разнообразие в принятии решения. Подобное положение можно объяснить тем, что по выбору предельных (рациональных) сочетаний значений глубины и ширины резания никаких нормативов не имеется.

Разработка метода автоматизированного расчета оптимальных режимов резания при обработке деталей концевыми фрезами на станках с ЧПУ с применением ЭВМ является актуальной и пригодной для широкого практического использования за счет:

- максимального учета факторов (ограничений), влияющих на режимы резания;

- повышения точности расчета параметров, ограничивающих режимы резания;

- охвата всех основных марок обрабатываемых материалов; максимального использования для формирования технологических условий и режимов обработки типовых решений;

- оптимизации режимов фрезерования дифференцированно по типовым участкам обрабатываемых поверхностей и применения рациональных способов их обработки (схем движения инструмента).

Для решения этих задач необходимо провести комплекс исследований, направленный на:

- установление зависимостей максимально возможной подачи и предельных сочетаний параметров глубины и ширины резания, допустимых парой "обрабатываемый материал - режущий инструмент" при предварительной (черновой) обработке;

- разработку метода расчета предельных сочетаний параметров резания, допустимых стойкостью и прочностью (жесткостью) инструмента;

- разработку рациональных способов фрезерования элементов деталей;

- разработку методики расчета жесткостных и прочностных характеристик концевых фрез, а также деформации технологической системы;

- разработку математической модели процесса фрезерования; автоматизацию формирования технологических условий и режимов обработки на основе типовых решений;

- создание методики оптимизации режимов резания применительно к типовым обрабатываемым поверхностям;

- разработку алгоритмов и программ расчета оптимальных режимов резания с применением ЭВМ.

Литература

1. Опыт оптимизации режимов механической обработки резанием / В.И. Андреев [и др.]. – М.: СТИН, 2012. – с. 37.

2. Горанский Г.К. К теории автоматизации инженерного труда. – Минск: Белорусская наука, 1997. – 214 с.

3. Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках / А.М. Гильман [и др.]. – М.: Машиностроение, 2002. – 188 с.

4. J. Braz. Soc. Mech. Sci. vol.24 no.1 Rio de Janeiro Mar. 2012. Influence of Cutting Conditions on Tool Life, Tool Wear and Surface Finish in the Face Milling Process.

Хусаинов Р.М.,
канд. техн. наук, доцент

Особенности применения коррекции на радиус инструмента на фрезерных станках с ЧПУ

При программировании фрезерных операций на станках с ЧПУ широко применяется коррекция на радиус инструмента. Это позволяет избежать ручного построения эквидистанты, позволяет проводить коррекцию погрешностей обработки и дает еще некоторые преимущества при программировании обработки контурных поверхностей.

Однако в связи с особенностями автоматического расчета эквидистанты средствами устройства ЧПУ могут возникнуть такие ситуации, которые могут привести к «зарезанию» контура. Классический случай такой ситуации – когда путь контура на внутренних углах меньше радиуса инструмента (рис. 1).

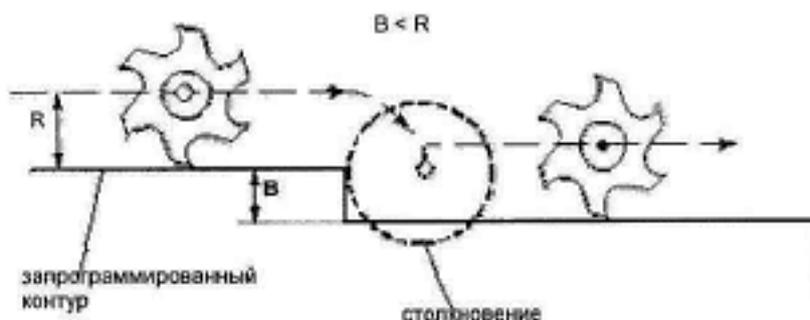


Рис. 1. Критический случай обработки:

B – ширина уступа при фрезеровании, R – радиус фрезы

Однако существуют такие ситуации, когда при отсутствии угрозы «зарезания» контура система ЧПУ интерпретирует их как ошибочные. Примером может служить разфрезеровка кругового кармана (рис. 2) при ручном программировании. После первого прохода по окружности (1-1) фреза производит радиальное врезание (1-2) и выполняет фрезерование по окружности следующего слоя (2-2). При применении классического

способа программирования с применением коррекции на радиус фрезы (фреза диаметром 8 мм) в системе Sinumerik 802, фрагмент программы запишется следующим образом:

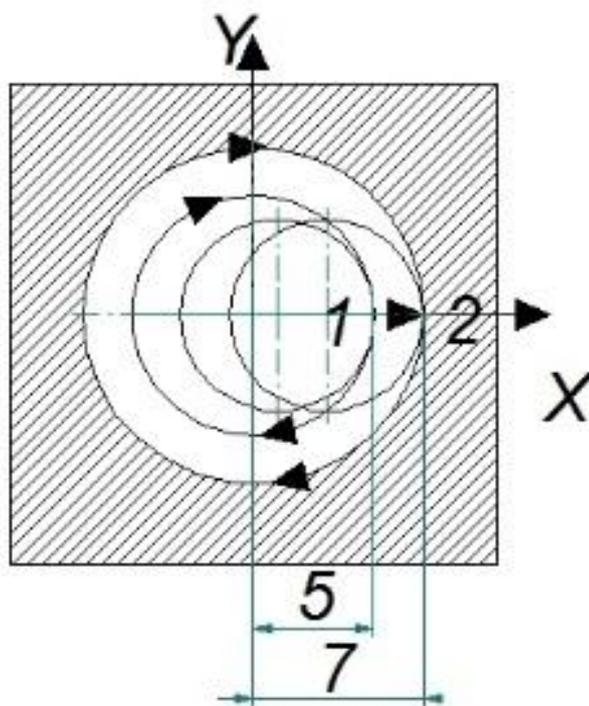


Рис. 2. Фрезерование кругового кармана

```
N100 G42  
.....  
N120 G02 I-5 J0 (1-1)  
N125 G01 X7 (1-2)  
N130 G02 I-7 J0 (2-2)
```

Участок 1-2, соответствующий кадру N125, интерпретируется системой ЧПУ как случай классического «бутылочного горлышка» (рис. 1), и она выдает сообщение «Компонент траектории в плоскости интерполяции становится равным нулю».

Возможны 3 способа решения этой проблемы:

1. Программирование без коррекции на радиус инструмента. В этом случае расчет координат траектории инструмента становится более трудоемким, и теряются другие преимущества применения коррекции.

2. Увеличение величины врезания – участка 1-2 (рис. 2). Однако это приводит к увеличению нагрузки на инструмент и к появлению опасности «зарезания» контура.

3. Промежуточный сброс коррекции. Фрагмент программы с применением этого способа выглядит следующим образом. После кадра N120 производится отмена коррекции, причем во избежание «зарезания» контура программируется небольшое смещение фрезы в сторону, противоположную направлению последующего врезания. Это смещение удобнее программировать в относительных координатах.

N123 G01 G40 G91 X-4.

Далее производится врезание на новую глубину резания с включением коррекции:

N125 G01 G42 G90 X7.

И далее происходит фрезерование по окружности:

N130 G02 I-7 J0.

Рассмотренный метод программирования дает возможность программирования с применением коррекции на радиус инструмента, и как следствие, с сохранением всех преимуществ данной функции, позволяя, с другой стороны, избежать ситуаций, интерпретируемых как ошибочные.

СЕКЦИЯ «ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ» ПРОЦЕССОВ

Бахвалова В.С.,
канд. техн. наук, доцент

Формирование пространственно-временной модели БД в рамках испытаний ДВС

Введение. На всех стадиях жизненного цикла двигателя подвергаются различного рода испытаниям, объем и трудоемкость которых, как показывает практика, непрерывно возрастают. И это вполне объяснимо: улучшить их параметры можно лишь при тщательном изучении происходящих в них процессов, так как легкодоступные резервы совершенствования их конструкции уже практически исчерпаны.

Однако здесь есть определенные проблемы. Дело в том, что системы испытаний функционируют в реальном масштабе времени, следовательно, имеют временные ограничения на реакцию и обработку разнообразных

входных сигналов и ситуаций. Во-вторых, они должны одновременно реализовывать различные циклограммы управления агрегатами объекта испытаний (двигателя) и стендового оборудования. В-третьих, программный комплекс АСИ должен обеспечивать выполнение достаточно большого числа разнообразных исследовательских, доводочных и серийных испытаний многих типов и модификаций ДВС.

Моделирование АСИ. Автоматизированная система испытаний (АСИ) состоит из аппаратной и программной частей (рис. 1). И одной из важнейших задач здесь является общение технолога с управляющей вычислительной системой на естественном языке. Решение данной проблемы видится в создании графических методов формализации предметной области для автоматических вычислений управляющих воздействий и компоновки состава траекторий испытаний. Однако задание данных параметров, представленных в виде компьютерной графики, в соответствующую подпрограмму управления [1].

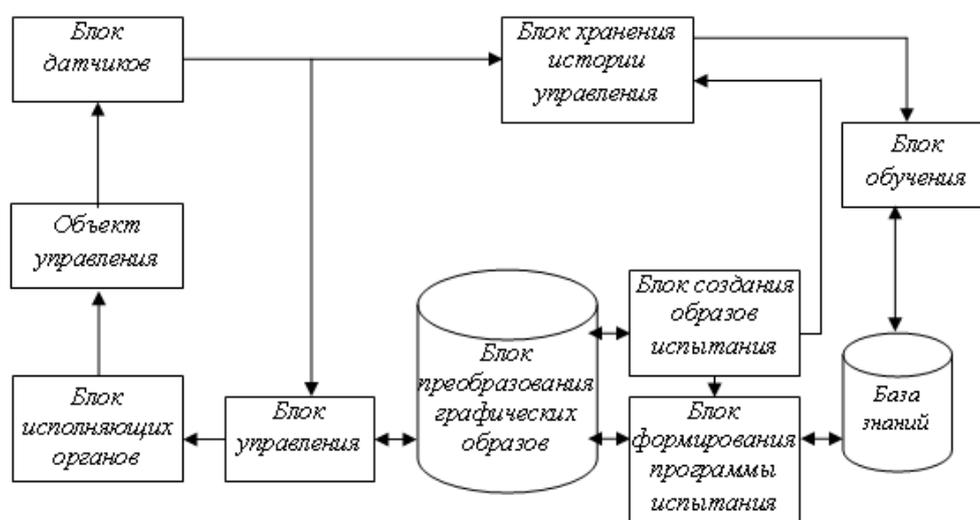


Рис. 1. Структура АСИ ДВС

Определение объектов преобразования. В блоке создания образов испытания пользователь задает изменение характеристик ДВС в виде графиков. Каждый график описывает операцию управления. Каждая их операций управления (ОУ) в свою очередь подвергается декомпозиции. Для процесса управления частотой вращения вала двигателя пользователь будет использовать график зависимости частоты вращения от времени. Получаем элементарные операции управления (ЭОУ), позволяющие задать

графические изображения для управления технологическим процессом, из которых строится вся технология испытания (Т) двигателей (рис. 2).

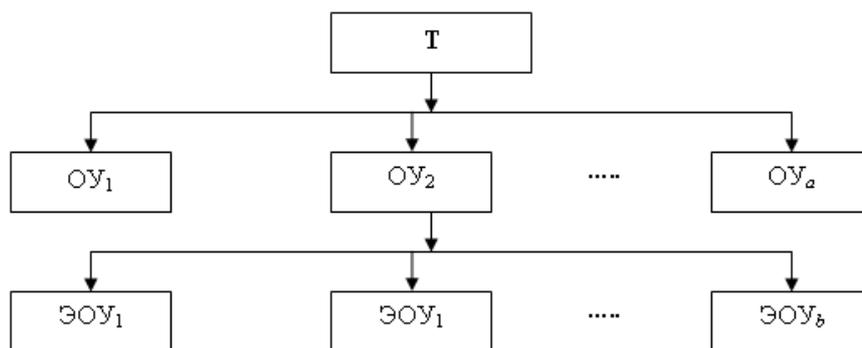


Рис. 2. Декомпозиция технологии испытаний

Блок формирования программы испытаний использует выходную частотную зависимость и получает входные управляющие параметры для обеспечения заданного режима работы двигателя. В качестве управляющего воздействия принимается перемещение рейки топливного насоса.

Разработка СУБД автоматизированной системы испытаний двигателя внутреннего сгорания.

Для реализации предложенной АСИ ДВС необходимо спроектировать систему управления базой данных (СУБД).

Определение структуры базы данных. Информация в базу данных поступает из блока создания образов испытания в виде графиков операций управления. Блок формирования программы испытаний использует выходную частотную зависимость и получает входные управляющие параметры для обеспечения заданного режима работы двигателя. В качестве управляющего воздействия принимается перемещение рейки топливного насоса. Прежде чем информация поступит в блок формирования программы испытаний, она подвергнется обработке. Для удобства составления управляющих данных вводится понятие *приведенная точка*. Приведенная точка будет характеризовать все операции управления, то есть она будет содержать значения всех параметров в определенный момент времени [2].

Проектирование БД. Рассмотрим проектирование БД ER-методом. Анализ полученных таблиц выявил ряд недостатков полученной базы данных. Атрибут <Наименование> операции управления в таблице *Операция управления* будет постоянно дублироваться. Взаимосвязь

<КодТочки> и <КодПриведеннойТочки> тип связи многие-ко-многим описывает недостаточно полно. Информация о перемещении рейки и управляющих данных должна быть разделена для передачи в блок формирования программы испытаний и блок управления.

Выявленные недостатки можно устранить, рассматривая БД как объектно-ориентированный (ООБД). Для устранения проблемы с дублированием данных в столбце <Наименование> таблицы *Операция управления*, примем, что <КодОперации> идентифицирует именно наименование операции управления. Для того чтобы связь операции управления с технологией испытания не терялась, создадим новую таблицу *Технология испытания*. В технологию испытания в качестве столбцов добавим строки из таблицы *Операция управления* по столбцу <КодОперации>. Для устранения проблем с таблицами *Управляющие данные* и *Управляющее воздействие* произведем их корректировку, получатся таблицы *Управляющие данные* (Перемещение Рейки, Оборот 1, Оборот 2, Время 1, Время 2, Нагрузка) и *Управляющее воздействие* (Код Технологии, Время2, Перемещение Рейки) [3].

Проектирование СУБД. Для реализации этих функций СУБД были выделены следующие алгоритмы: алгоритм создания таблиц, алгоритм преобразования данных, алгоритм составления управляющих данных, алгоритм сохранения образов испытания, алгоритм загрузки и алгоритм связи с блоком управления.

Проектирование ООБД с использованием ER-метода позволило избежать инкапсуляции данных и упростить процесс проектирования СУБД. Однако остается проблема определения временного интервала, как интервала, заданного системой.

Для устранения недостатков ООБД необходимо решить следующие задачи: создать гибкую структуру БД и четкий язык; отработать синтаксис разбора запросов, в том числе вложенных; определить несколько методов доступа; уточнить вопросы одновременного доступа (разрешения конфликтов при множественном наследии); определить сложный перебор; отработать защиту и восстановление.

Для создания *интеллектуальной системы* (ИС) необходимы развитые средства представления динамической информации, актуальной в определенные моменты или на некотором временном интервале, так называемой темпоральной (временной) информации [4].

Под темпоральными данными понимаются произвольные данные, явно или неявно связанные с определенными датами (моментами) или промежутками времени (интервалами). ТБД – это БД, хранящие

темпоральные данные, причем известно правило интерпретации временных меток и интервалов для конкретной СУБД [5].

Определение структуры БД. Информация в базу данных поступает из блока создания образов испытания в виде графиков операций управления. Совокупность всех операций управления, характеризующих испытание, описывают технологию испытания. Рассмотрим случай, когда операциями управления выступают обороты коленчатого вала и нагрузочное устройство.

Блок формирования программы испытаний использует выходную частотную зависимость и получает входные управляющие параметры для обеспечения заданного режима работы двигателя. В качестве управляющего воздействия принимается перемещение рейки топливного насоса. Прежде чем информация поступит в блок формирования программы испытаний, она подвергнется обработке.

Построим концептуальную модель данных и определим структуру БД (рис. 3) [6].

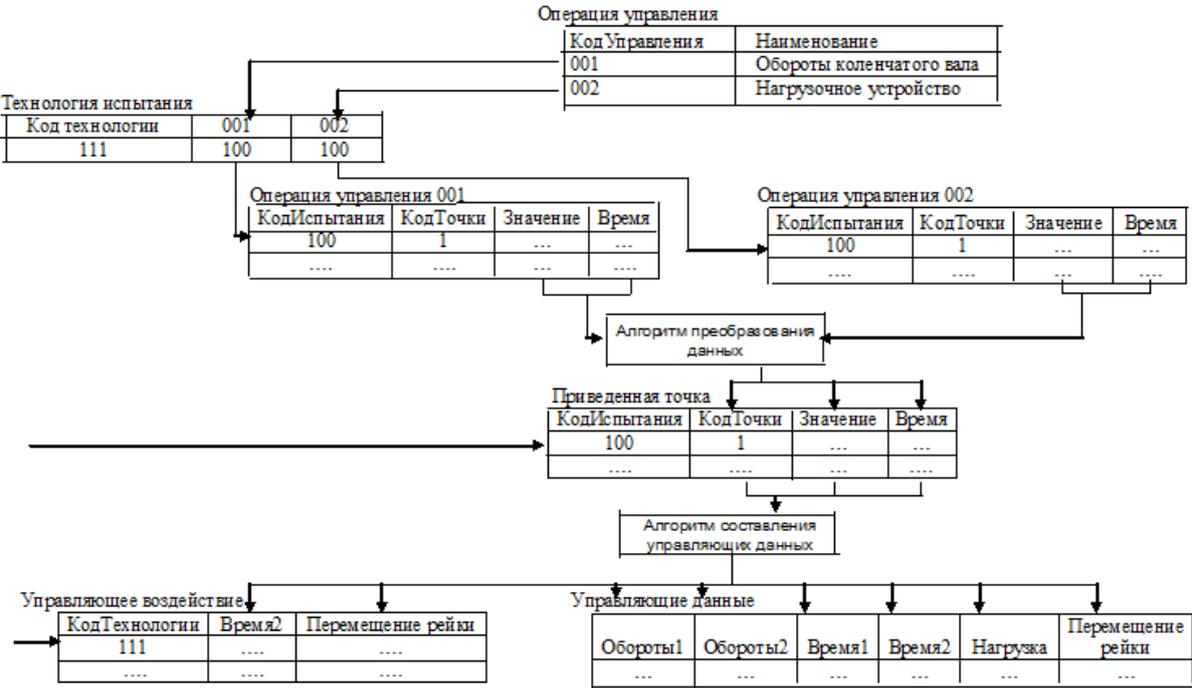


Рис. 3. Концептуальная модель базы данных

Поскольку одним из самых важных параметров считается время (время регистрации начала операции, время длительности операции), то будет правильным решением использование темпоральной структуры БД.

Первое понятие называют *действительным временем*, второе – *временем транзакции*. Темпоральная СУБД должна хранить в базе данных оба значения времени и позволять делать поиск по обоим значениям.

Методика предполагает следующую последовательность действий:

1. Подготовка схемы базы данных без учета исторической составляющей.
2. Преобразование схемы базы данных для учета истории изменений.
3. Преобразование операций над базой данных для учета истории изменений.

Полученная база данных обеспечит хранение как «действительного времени», так и «времени транзакции». Также выполнение всех вышеупомянутых действий позволяет решить еще две важные задачи:

1. Организация репликации данных между территориально распределенными базами.
2. Организация протоколирования всех действий пользователей с возможностью просмотра журнала операций администратором системы.

Заключение. В данной работе предложено задавать параметры настройки двигателя в АСИ в виде графиков операции управления. Принятая логика преобразования позволяет решить эту проблему.

Также предлагается использовать темпоральную модель базы данных для фиксации временного интервала и решения важных проблем, связанных с использованием временной информации при выполнении различных запросов и использовании данных, полученных ранее при испытании определенной категории ДВС.

Литература

1. Управление режимами двигателя внутреннего сгорания с использованием математической модели / В.С. Бахвалова, Е.В. Зубков, А.А. Макушин, А.Н. Илюхин // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – №8.
2. Логика преобразования автоматизированной системы испытаний ДВС / В.С. Бахвалова, Е.В. Зубков, А.И. Салахеева // Новые информационные технологии и системы: труды IX междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – Ч.2. – 220 с.
3. Проектирование объектно-ориентированной базы данных с использованием ER-метода / В.С. Бахвалова, Е.В. Зубков, А.И. Салахеева // Научные исследования и их практическое применение. Современное

состояние и пути развития 2010: сб. науч. тр. Т. 2: Технические науки. – Одесса: Черноморье, 2010. – 91 с.

4. Темпоральные базы данных и их применение в интеллектуальных системах / А.П. Еремеев, А.А. Еремеев, А.А. Пантелеев; под. ред. В.М. Курейчика // Интеллектуальные системы: кол. монография. Вып. 4. – М.: Физматлит, 2010. – С. 253-276.

5. Грэхем И. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика: пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 880 с.

6. Проектирование системы управления базой данных автоматизированной системы управления ДВС / В.С. Бахвалова, Е.В. Зубков, А.И. Салахеева // Компьютерная математика в науке, инженерии и образовании: материалы IV междунар. науч.-техн. конф. (CMSEE – 2010, г. Полтава, 1-31 окт. 2010г.). – Киев: Изд-во НАН Украины, 2010г. – 76 с.

Грудцына Л.Ю.,
ст. преподаватель
Мышкина И.Ю.,
ст. преподаватель

Решение задачи оценки бизнес-проектов самозанятости для оказания государственной поддержки на основе экспертного метода

Одним из направлений государственной политики по снижению напряженности на рынке труда является содействие самозанятости безработных граждан. Под самозанятостью понимается организация собственного дела с оформлением государственной регистрации в качестве индивидуального предпринимателя или юридического лица. Самозанятость и малое предпринимательство считаются наиболее динамичной составляющей экономики, гибко реагирующей на нужды и потребности людей, влияющей на качество жизни населения. Государственная поддержка осуществляется на базе центров занятости населения (ЦЗН) в виде консультативной помощи по вопросам организации и ведения собственного дела, а также компенсационной выплаты (субсидии) на организацию собственного дела.

Оценить целесообразность (потенциал) будущей предпринимательской деятельности достаточно сложно ввиду невозможности

применения точных математических методов, а также неоднозначности и множества факторов, влияющих на эту оценку. Поэтому задача разработки критериев и методов оценки бизнес-проектов остается актуальной.

В данной статье рассматривается экспертный метод оценки бизнес-проектов самозанятости для принятия решения об оказании финансовой помощи на их реализацию. Предложенный метод позволяет сформировать обобщенную оценку по различным показателям как самого бизнес-плана, так и его исполнителя, а также учесть мнения нескольких экспертов.

Исследование проводилось на базе ГКУ «Центр занятости населения города Набережные Челны». Принятие решения о целесообразности данного вида предпринимательской деятельности осуществляет экспертный совет на основании следующих материалов: бизнес-план, личное представление (презентация) бизнес-плана соискателем, анкетные данные соискателя, результаты проведенного тестирования на выявление способностей к предпринимательской деятельности [1]. Немаловажно также учесть, сможет ли будущий получатель субсидии выполнять условия договора в установленном порядке. Многокритериальность и качественное различие показателей могут стать препятствием для получения объективной оценки, следовательно, и принятия того или иного решения относительно данного соискателя. Возникает необходимость в построении модели принятия решения, выделении значимых критериев оценки и подборе математических методов обработки исходных данных.

Для формирования информационной модели были предприняты следующие шаги: изучены нормативные и регламентирующие документы ЦЗН по организации содействия самозанятости; рассмотрены анкетные и тестирующие методики, применяющиеся для сбора личной информации о соискателе; опрошены члены экспертного совета (эксперты).

В процессе формирования заключения о целесообразности бизнес-проекта были выделены следующие этапы.

Этап 1. Определено 17 значимых характеристик бизнес-проекта (критериев), которые объединяются в пять групп, составляющих двухуровневую иерархическую структуру (рис.1). Предполагается, что каждый элемент структуры характеризуется значимостью (весом). Такая модель представляет собой декомпозицию итоговой оценки проекта самозанятости.



Рис. 1. Информационная иерархия критериев

Этап 2. Чтобы оценить вес входящих в информационную иерархию критериев, предлагается использовать метод аналитической иерархии (МАИ) Саати [2]. Каждый эксперт составляет матрицы парных сравнений альтернатив соответствующих уровней иерархии. Ранжирование альтернатив (построение вектора приоритетов) осуществляется на основании главных собственных векторов, получаемых в результате обработки матриц. Каждая матрица парных сравнений должна быть диагональной ($a_{ii} = 1, i = \overline{1, n}$) и обратно симметричной ($a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, i, j = \overline{1, n}$).

Элементы векторов приоритетов по группе экспертов можно определить как среднее геометрическое.

Этап 3. Оценку проекта/соискателя по выделенным критериям предлагается провести с применением аппарата теории нечетких множеств. Каждый критерий рассматривается как лингвистическая переменная с тремя термами «низкий», «средний», «высокий», определяемыми своими функциями принадлежности. С помощью указанных функций фаззифицируется четкая оценка проекта/соискателя, выставленная экспертом по второму уровню критериев.

Этап 4. Этап получения обобщенной оценки (этап дефаззификации). Расчет обобщенной оценки X_s кандидата номер s предлагается проводить по формуле:

$$X_s = \frac{\sum_{k=1}^3 \left[p_k \cdot \sum_{i=1}^5 \left(w_i \cdot \sum_{j=1}^{f(i)} w_{ij} \cdot \lambda_{ij}^k(x_{ij}^s) \right) \right]}{\sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^5 \left(w_i \cdot \sum_{j=1}^{f(i)} w_{ij} \cdot \lambda_{ij}^k(x_{ij}^s) \right)}, \quad (1)$$

где $k = \overline{1,3}$ – число значений входных лингвистических переменных, $i = \overline{1,5}$ – число компонентов первого уровня иерархии, $j = \overline{1, f(i)}$ – число компонентов второго уровня иерархии: $f(1)=3, f(2)=5, f(3)=4, f(4)=2, f(5)=3$; p_k – центр тяжести фигуры, образуемой k -й функцией принадлежности входных переменных; w_i – компоненты вектора приоритетов первого уровня иерархии; w_{ij} – компоненты векторов приоритетов второго уровня иерархии; x_{ij}^s – четкая экспертная оценка характеристики ij кандидата номер s ; $\lambda_{ij}^k(x_{ij}^s)$ – значение функции принадлежности k -й лингвистической переменной при оценке характеристики ij .

Замечание. В тех случаях, когда оценка некоторой характеристики проекта/соискателя может быть получена без привлечения экспертного мнения, а именно при помощи тестирующих методик (группа критериев «Психологические характеристики») или путем расчетов (группа критериев «Показатели экономической эффективности»), значение ее x_{ij}^s нормируется, вычисляется $\lambda_{ij}^k(x_{ij}^s)$ и включается в формулу обобщенной оценки (1).

Приведенный выше метод расчета обобщенной оценки, базирующийся на нечеткой математике, может быть отнесен к методам свертки на иерархии критериев. Формула (1) является модификацией формулы, описанной в [3].

В качестве преимущества применения данной формулы в сравнении с классическим МАИ Саати можно отметить следующие моменты. В МАИ для вычисления результирующего вектора приоритетов (относительно вершины иерархии) строятся матрицы парных сравнений альтернатив относительно каждого критерия. В условиях сформулированной задачи альтернативами являются соискатели; экспертный совет на заседании рассматривает порядка 20-40 проектов, следовательно, составление матриц

парных сравнений соискателей по каждому из критериев представляется весьма затруднительным. Предложенная формула (1) предполагает, что экспертом будет дана одна оценка по каждому критерию для каждого соискателя. Введение нечеткости позволяет рассматривать оценки соискателей, данные экспертом, неоднозначно, например, в определенной степени «высокой», в определенной степени «низкой», что добавляет гибкости итоговой оценке. Изменение параметров формулы дает возможность «настраивать» обобщенную оценку как при работе одного эксперта, так и группы экспертов.

Приведенный алгоритм допускает компьютерную реализацию в виде информационно-аналитической системы поддержки принятия решений.

Литература

1. Положение об Экспертном совете по оценке бизнес-планов ГКУЦ ЦНЗ г. Набережные Челны : приказ ГКУЦ ЦНЗ г. Набережные Челны от 12.09.2013г. №109/1 ОД.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. –М.: Радио и связь, 1993. – 316с.
3. Решение некоторых кадровых задач на предприятии на основе информационных моделей профессиональных знаний специалистов и должностей / А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина // Вестник УГАТУ. – 2010. – Т. 14, №4(39). – С. 185-193.

Демьянов Д.Н.,
канд. техн. наук, доцент

Разработка и программная реализация алгоритма расчёта коэффициентов функционального наблюдателя

Введение. При решении целого ряда задач управления и диагностики в технических системах возникает необходимость отслеживания динамики вектора состояния или отдельных его компонентов. Наиболее простым способом решения этой задачи является непосредственное измерение интересующих нас величин. Однако в ряде случаев этот подход может быть весьма затратным или же сложным с точки зрения практической реализации. Кроме того, при контроле некоторых наиболее важных

параметров динамической системы реализуют схемы с дублированием: переменную измеряют непосредственно и при этом рассчитывают её оценку с помощью некоторого алгоритма. Это позволяет косвенно контролировать состояние датчика и учитывать возможные нарушения в его работе.

Таким образом, важной практической задачей становится разработка алгоритмов оценивания неизмеряемых переменных состояния динамической системы. Существует значительное количество разработок в данной области, позволяющих асимптотически или финитно (за конечное время) оценивать вектор состояния динамической системы или его ненаблюдаемую часть [1; 2; 3]. Однако в ряде случаев на практике требуется восстанавливать не весь неизмеряемый вектор состояния, а только лишь некоторые его элементы или некоторую совокупность линейных комбинаций переменных состояния. Эта задача решается с использованием функциональных наблюдателей [4; 5], позволяющих снизить порядок наблюдающего устройства. Потребность в таких алгоритмах оценивания возникает, например, при реализации средств контроля и диагностики бортовых информационно-управляющих систем высококомобильных транспортных средств. В этом случае на характеристики контроллеров (быстродействие, объём памяти и т. д.) накладываются существенные ограничения, а ресурсы вычислительной системы должны использоваться максимально эффективно.

Проведённый анализ открытых источников позволяет сделать вывод о том, что существующие методы проектирования функциональных наблюдателей весьма несовершенны и, самое главное, обладают значительной сложностью с точки зрения программной реализации. В этих условиях разработка новых, более алгоритмичных способов расчёта коэффициентов функциональных наблюдателей является весьма актуальной задачей.

Постановка задачи. Пусть рассматривается динамический объект, описываемый системой уравнений

$$\dot{x} = Ax + Bu; \quad y = Cx, \quad (1)$$

где $x \in R^n$, $u \in R^s$ и $y \in R^m$ – векторы состояния, управления и выхода; A, B, C – числовые матрицы соответствующих размеров.

Предполагается, что все выходные сигналы (строки матрицы C) линейно независимы, $n > \max(s, m)$, пара (A, C) является наблюдаемой.

Рассматривается некоторый линейный функционал переменных состояния, имеющий вид

$$g = Kx, \quad (2)$$

где K – числовая матрица соответствующих размеров.

Требуется синтезировать наблюдатель, который формировал бы по известной информации о сигналах y и u вектор \hat{g} такой, что $\hat{g}(t) - g(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

Расчёт коэффициентов наблюдающего устройства. При решении поставленной задачи будет использоваться метод канонизации матриц, подробно описанный в работе [6], а также полученные на его основе формулы для решения линейных матричных уравнений произвольной размерности.

Преобразовав уравнение выхода динамической системы по аналогии с предложенным в работе [5], получим выражение для вектора состояния:

$$x = \tilde{C}y + \bar{C}^R \tilde{M}_2 \mu + \bar{C}^R \bar{M}_2^R \eta, \quad (3)$$

где $M_1 = K\tilde{C}$, $M_2 = K\bar{C}^R$ – матрицы коэффициентов; μ, η – некоторые вектора, а выражение (2) может быть переписано в виде $g = M_1 y + \mu$.

Выражение (3) будет справедливо, если выполняются условия $\bar{C}^L = \emptyset$, $\bar{M}_2^L = \emptyset$.

Можно показать, что матрица коэффициентов в правой части выражения (3) является квадратной обратимой. Обозначим её символом T , а обратную к ней матрицу – символом V .

Перепишем уравнение динамики системы в новых координатах, задаваемых преобразованием (3). Выделим из него уравнение, описывающее динамику вектора μ , и дополним его слагаемым, пропорциональным расхождению между реальным значением вектора и его оценкой. Получим:

$$\dot{\hat{\mu}} = (V_2 - LV_1)(AT_2 \hat{\mu} + AT_1 y + AT_3 \eta + Bu) + L\dot{y}. \quad (4)$$

Здесь символами T и V с индексами обозначены соответствующие блоки матриц, а символом L – матрица наблюдений.

Оценка искомого функционала будет определяться выражением:

$$\hat{g} = K\tilde{C}y + \hat{\mu}. \quad (5)$$

Так как согласно принятым допущениям вектор η недоступен измерению, то для построения наблюдателя требуется обеспечить выполнение условия $(V_2 - LV_1)AT_3 = 0$, а для асимптотической устойчивости требуется расположить в левой полуплоскости собственные числа матрицы $(V_2 - LV_1)AT_2$.

Тогда уравнение (4) будет иметь вид:

$$\dot{\hat{u}} = (V_2 - LV_1)(AT_2\hat{u} + AT_1y + Bu) + Ly. \quad (6)$$

Если дифференцирование выходного сигнала не допускается, то формулу можно видоизменить, введя вспомогательную переменную:

$$\dot{\chi} = (V_2 - LV_1)[AT_2\chi + A(T_1 + T_2L)y + Bu]. \quad (7)$$

Оценка искомого вектора определится выражением:

$$\hat{g} = (K\tilde{C} + L)y + \chi. \quad (8)$$

Сформулированные условия существования наблюдателей могут быть формализованы в виде выражения $V_2AT_3\bar{M}^R = 0$, где $M = V_1AT_3$. При этом возможны 2 варианта.

1. Если $\bar{M}^L = \emptyset$, то существует единственное значение матрицы L , обеспечивающее существование решения $L = V_2AT_3\tilde{M}$.

2. Если $\bar{M}^L \neq \emptyset$, то существует множество значений матрицы L , обеспечивающих существование решения $L = V_2AT_3\tilde{M} + \pi\bar{M}^L$. Для вычисления неизвестной матрицы π подставим найденное решение в формулу для расчёта матрицы динамики наблюдателя. Можно показать, что обеспечение требуемого расположения собственных чисел матрицы динамики будет эквивалентно задаче формирования спектра матрицы $A^* - B^*\pi^T$, где $A^* = [(V_2 - V_2AT_3\tilde{M}V_1)AT_2]^T$, $B^* = [\bar{M}^LVAT_2]^T$.

Обобщая полученные результаты, сформулируем алгоритм расчёта коэффициентов функционального наблюдателя. Исходные данные: числовые матрицы A, B, C, K и вектор желаемых полюсов наблюдателя.

Этап 1. Провести канонизацию матриц $C, K\bar{C}^R$ и провести проверку разрешимости задачи.

Этап 2. Рассчитать матрицы преобразования T, V .

Этап 3. Рассчитать матрицу V_1AT_3 , провести её канонизацию и проверить применимость предлагаемого метода, а также оценить возможное количество решений задачи.

Этап 4. Если решение задачи единственное, то следует рассчитать матрицу L , матрицу динамики наблюдателя и оценить допустимость полученного решения. Если собственные числа матрицы динамики находятся в требуемой области, то задача решена, иначе следует изменить требования к наблюдающему устройству и вернуться к первому этапу.

Этап 5. Если существует множество решений задачи, то следует вычислить матрицы A^*, B^* и решить задачу модального управления,

расположив в требуемой области собственные числа матрицы $A^* - B^* \pi^T$, после чего рассчитать матрицу L .

Этап 5. Если дифференцирование выходов допускается, то построить функциональный наблюдатель, используя формулы (5), (6); иначе – формулы (7), (8).

Программная реализация разработанного алгоритма. Представленный алгоритм расчёта коэффициентов функционального наблюдателя был реализован в виде пользовательской функции в системе компьютерной математики MATLAB. Указанная система была использована в качестве среды реализации по причине наличия в ней большого количества встроенных функций, значительно облегчающих выполнение рутинных математических операций (например, сложение и перемножение матриц, решение задачи модального управления). Кроме того, именно эта система компьютерной математики наиболее часто используется специалистами, осуществляющими анализ и проектирование систем автоматического управления.

Команда вызова разработанной функции имеет в общем случае следующий вид:

`[t, u, flag] = fobs(a, b, c, k, p, 'isdiff', 'stable');`

Здесь обязательными входными аргументами являются: a , b , c – числовые матрицы коэффициентов системы уравнений в пространстве состояний (1), описывающей исходную динамическую систему; k – матрица коэффициентов, определяющая оцениваемый функционал (2); p – вектор желаемых полюсов наблюдателя. Необязательными входными аргументами являются: 'isdiff' – переменная логического типа, которая определяет, допустимо ли дифференцирование выходного сигнала или нет (по умолчанию дифференцирование выходного сигнала не допускается и значение этой переменной false); 'stable' – переменная логического типа, которая определяет, следует ли обеспечивать заданное расположение полюсов наблюдателя или же достаточно обеспечить его асимптотическую устойчивость, если невозможно точное решение задачи (по умолчанию если точное решение задачи невозможно, то будет найдено любое решение, обеспечивающее асимптотическую устойчивость наблюдателя, и значение этой переменной true).

Выходными аргументами разработанной функции являются:

1) t , u , $flag$ – матрицы коэффициентов в уравнении динамики наблюдателя, причём матрицы коэффициентов u , $flag$ относятся к выходному и входному сигналам системы соответственно, а матрица коэффициентов t определяет динамику наблюдателя;

2) f – матрица коэффициентов, смысл которой различен в зависимости от того, чему равно значение входной переменной 'isdiff': если оно равно true, то матрица f является матрицей коэффициентов перед производной выходного сигнала в уравнении наблюдателя, если же оно равно false, то это матрица коэффициентов перед выходным сигналом в уравнении для расчёта оцениваемого функционала;

3) flag – переменная логического типа, которая показывает, было ли найдено точное решение задачи (значение true) или же любое допустимое решение, обеспечивающее асимптотическую устойчивость наблюдателя (значение false).

Проведённое тестирование показало корректность и эффективность разработанной функции, её способность рассчитывать результат при различных значениях входных переменных и отрабатывать исключительные ситуации, связанные с ошибками в исходных данных (например, некорректные размеры матриц и векторов) и принципиальной неразрешимостью задачи синтеза.

Выводы. В работе предложен алгоритм расчёта коэффициентов функционального наблюдателя, основанный на компенсации отдельных элементов вектора состояния, измерение которых невозможно, а оценивание не требуется. Предложены два варианта реализации наблюдающего устройства: с дифференцированием выходного сигнала и без дифференцирования выходного сигнала. Представленный алгоритм реализован в системе компьютерной математики MATLAB в виде функции. Полученные результаты могут быть использованы на практике, например, при решении задач оценивания неизмеряемых сигналов в системах диагностики или при реализации модальных регуляторов в условиях ограничения на быстродействие или размерность наблюдателя.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 14-08-00651).

Литература

1. Кузовков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.
2. O'Reilly J. Observers for linear systems / J. O'Reilly. – London: Academic Press, 1983. – 246 p.
3. Андриевский Б. Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB / Б. Р. Андриевский, А. Л. Фрадков. – СПб.: Наука, 1999. – 467 с.

4. Коровин С. К. Синтез минимальных функциональных наблюдателей / С. К. Коровин, В. В. Фомичев, И. С. Медведев // Доклады академии наук. Теория управления. – 2005. – № 3. – С. 316-320.

5. Асанов А. З. Аналитический синтез функциональных наблюдателей / А. З. Асанов, Д. Н. Демьянов // Изв. вузов. Авиационная техника. – 2013. – № 4. – С. 13-18.

6. Буков В.Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем / В.Н. Буков. – Калуга: Изд-во науч. лит. Н.Ф. Бочкаревой, 2006. – 720 с.

Зубков Е.В.,

канд. техн. наук, доцент

Подбор искусственной нейронной сетью параметров математической модели режимов работы дизельных двигателей при нестационарных нагрузках

Международный стандарт 1585 на испытания дизелей регламентирует стационарные режимы нагружения [4; 6], поэтому отечественные заводы выпускают двигатели для стационарных режимов работы, а эксплуатируют их при неустановившихся нагрузках. При неустановившихся режимах все системы двигателя начинают работать рассогласованно, вследствие чего возникают динамические потери. Расход топлива в условиях эксплуатации всегда больше, а момент двигателя снижается по сравнению с данными стендовых испытаний.

Разработка технологического процесса автоматизированных испытаний при исследовании двигателей в динамических режимах позволит получить характеристики рабочих процессов дизельных двигателей при неустановившихся нагрузках. Для этого стенд для исследований двигателей должен обеспечивать возможность воспроизводить неустановившийся характер нагрузки, а также типовые нагружения исследуемого двигателя [5].

С целью обеспечения возможности учета динамических свойств дизеля при разработке системы управления для настройки параметров автоматизированных систем испытаний применяется математическая модель двигателя, адекватность которой доказана для дизеля КАМАЗ 740.60 при стендовых испытаниях на заводе двигателей ОАО «КАМАЗ» экспериментально [3]:

$$\begin{cases} \frac{dh(t)}{dt} = T_h \cdot h(t) + K_{hm} \cdot M_c(t) + K_\omega \cdot \overline{\omega(t)} + 0 \cdot \overline{M_c(t)} \\ \frac{dM_c(t)}{dt} = 0 \cdot h(t) + T_m \cdot M_c(t) + 0 \cdot \overline{\omega(t)} + K_c \cdot \overline{M_c(t)} \end{cases}, \quad (1)$$

$$\omega = K_h \cdot h(t) + K_m \cdot M_c(t), \quad (2)$$

где $\overline{\omega(t)}$ и $\overline{M_c(t)}$ – входные параметры требуемой частоты вращения вала двигателя и нагрузки, соответственно; $h(t)$ и $M_c(t)$ – переменные, определяющие положение рейки ТНВД и нагрузку, соответственно; $\omega(t)$ – выходной сигнал, показывающий частоту вращения вала двигателя, K_ω – коэффициент передачи исполнительного механизма перемещения рейки топливного насоса, K_c – коэффициент усиления источника питания нагружающего устройства, T_h – коэффициент, определяющий инерционность дизеля, T_m – коэффициент определяющий инерционность нагружающего устройства, K_{hm} – коэффициент, дополнительной инерционности от нагружающего устройства на вал дизеля, K_h – коэффициент усиления дизеля, K_m – коэффициент усиления нагружающего устройства. При использовании различных модификаций дизелей, например, с другой топливной системой, физический смысл коэффициентов будет иным [2].

Представим модель (1, 2) в виде графа (рис.1).

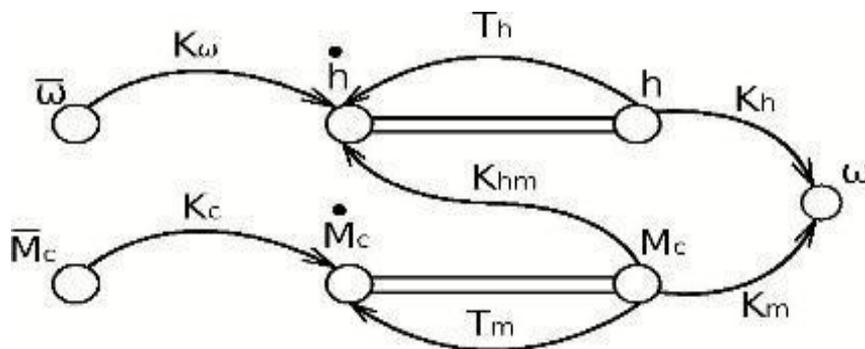


Рис. 1. Граф представления модели управления дизельного двигателя с двумя входными и одним выходным значениями

Подбор коэффициентов осуществим искусственной нейронной сетью (ИНС), выбрав количество входных и выходных элементов сети равное количеству коэффициентов модели. В качестве подбираемых коэффициентов выберем T_m , T_h , K_{hm} , K_ω , K_c , а оставшиеся 2 коэффициента известны из характеристик дизеля и нагружающего устройства. Количество нейронов в скрытом слое вычислено исходя из гипотезы, что

их количество равно полусумме числа входных и выходных элементов. Исходя из данных выше, была получена ИНС, отображенная на рисунке 2.

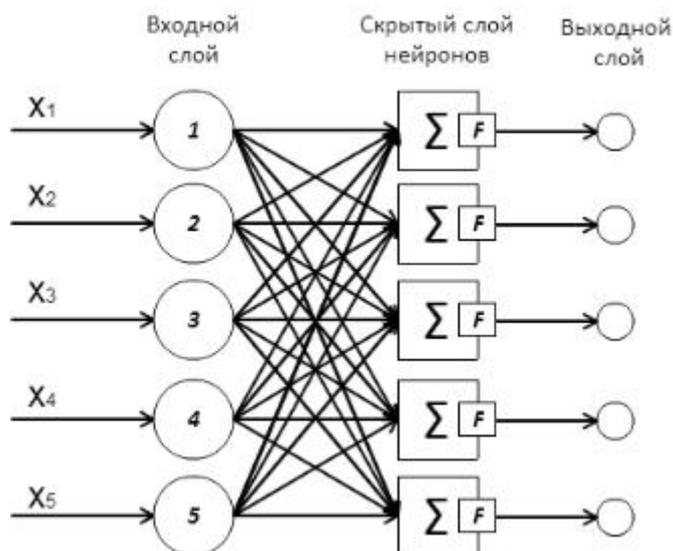


Рис. 2. Модель ИНС прямого распространения с пятью входами и выходами

После того, как определено число слоев и число элементов в каждом из них, нужно найти значения для весов и порогов сети, которые бы минимизировали ошибку прогноза, выдаваемого сетью.

Для обучения построенной ИНС был выбран алгоритм обратного распространения ошибки, который, несмотря на достаточную простоту, применим в решении большого круга задач и в некоторых случаях он имеет определенные преимущества [1, 7].

ИНС для каждого вектора входных параметров вычисляет значение погрешности модели. Во время обучения на вход ИНС подается вектор $[1,1,1,1,1]$. На каждом слое вычисляется значение сигмоидальной функции активации (OUT):

$$OUT = \frac{1}{1 + \exp(-Y)}, \quad (3)$$

где Y – значение суммы входов нейрона.

Сигмоида позволяет усиливать слабые сигналы и не насыщаться от сильных сигналов. Подобная нелинейная функция активации решает поставленную перед ней дилемму шумового насыщения.

Получившееся значение сигмоиды умножается на значения весов и передается на следующий слой нейронов.

На основании параметров полученных на выходе ИНС, вычисляется погрешность математической модели. Исходя из полученной ошибки, корректируются веса сети и расчёты выполняются заново (рис.3).

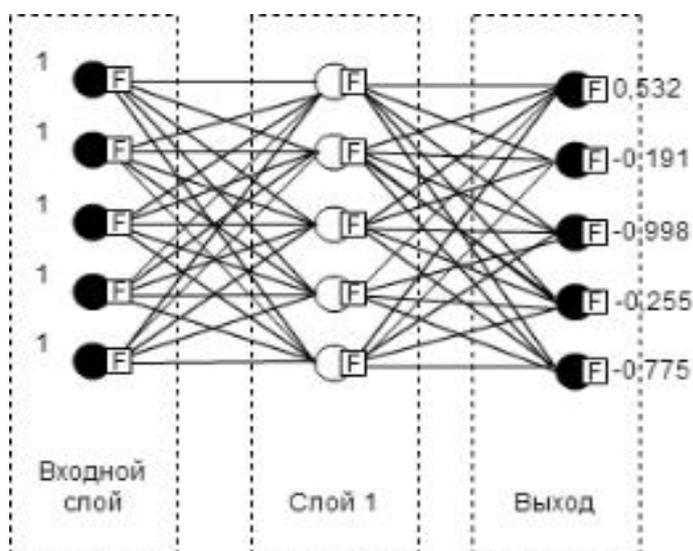


Рис. 3. Распространение сигнала в нейронной сети

Таким образом, обучение нейронной сети состоит из этапов – последовательности получения результатов работы нейронной сети, параметров имитационной модели и сравнения с эталонными значениями.

Алгоритм действует итеративно, и его шаги принято называть эпохами. На каждой эпохе на вход сети поочередно подаются все обучающие наблюдения, выходные значения сети сравниваются с целевыми значениями и вычисляется ошибка. Значение ошибки, а также градиента поверхности ошибок используется для корректировки весов, после чего все действия повторяются. Начальная конфигурация сети выбирается случайным образом, и процесс обучения прекращается либо когда пройдено определенное количество эпох, либо когда ошибка достигнет некоторого определенного уровня малости, либо когда ошибка перестанет уменьшаться (пользователь может сам выбрать нужное условие остановки).

На основе предложенной концепции была разработана компьютерная программа, позволяющая определять параметры математической модели (рисунок 4). При значении коэффициента обучения, равном 0,11, на подбор параметров было затрачено 5 минут и 15 секунд, погрешность системы составила 7,52%.

При значении коэффициента обучения, равном 0,5, на подбор параметров было затрачено 27 секунд, погрешность системы составила

7,54%. При значении коэффициента обучения, равном 0,9, на подбор параметров была затрачена 1 минута и 38 секунд, погрешность системы составила 7,57%. Расчет погрешности осуществлялся по формуле средней квадратической ошибки.

При коэффициентах обучения 1.5 и выше система не способна подбирать коэффициенты. Исходя из этих данных, можно сделать заключение, что при увеличении значения коэффициента обучения ускоряется процесс подбора коэффициентов, однако при выборе достаточно большого значения нейронная сеть начинает «перепрыгивать» значение глобального минимума и таким образом она не способна решать поставленную задачу.

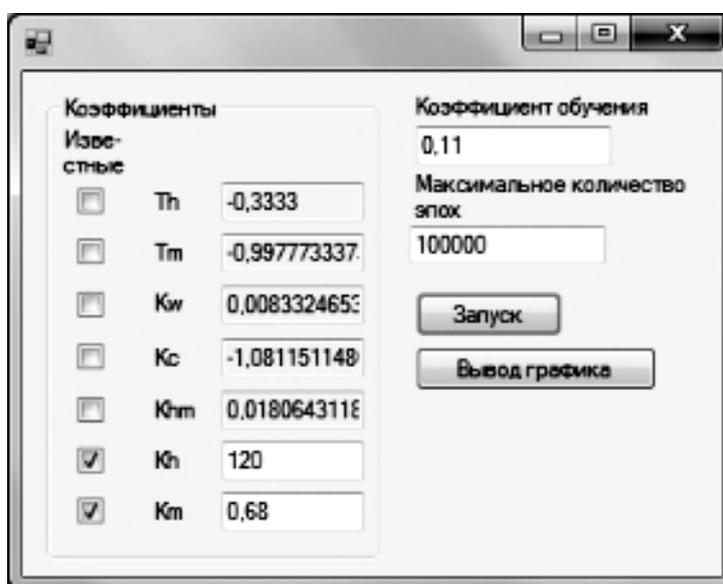


Рис. 4. Подобранные коэффициенты

Таким образом, была реализована система подбора параметров математической модели дизеля с двумя входными и одним выходным значением, получена векторная передаточная функция для имитационного моделирования. Адекватность данной модели рассчитывалась на основе характеристик двигателя КАМАЗ 740.60.

ИНС, реализующая систему подбора параметров, позволяет при увеличении значения коэффициента обучения увеличить скорость подбора, но увеличивает погрешность модели, которая с подобранными параметрами варьируется между значениями 7,52% и 7,57%. Для получения меньшей погрешности в рассматриваемой модели необходимо учитывать дополнительные входные параметры.

Литература

1. Применение гибридной нейронной сети для настройки нечетких систем при моделировании режимов испытаний ДВС / Л.А. Галиуллин, Е.В. Зубков // Вестник машиностроения. – 2011. – №5. – С. 21-24.
2. Математическое моделирование управления частотой вращения вала дизеля с топливной системой Common Rail / Е.В. Зубков, А.А. Новиков // Вестник машиностроения. – 2012. – №6. – С. 7-9.
3. Математическое моделирование режимов испытаний дизельных двигателей / Л.А. Галиуллин, Е.В. Зубков, Д.И. Мочалов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011 – № 5. – С. 77-81.
4. Алгоритмизация технологических процессов автоматизированных испытаний дизельных двигателей / Е.В. Зубков, С.В. Дмитриев, А.Х. Хайруллин. – Казань: Казан. ун-т, 2011. – 182 с.
5. Имитационное моделирование технологических процессов автоматизированных испытаний дизелей при динамических нагрузках на машиностроительном предприятии / Е.В. Зубков, Д.И. Мочалов, А.Х. Хайруллин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №1. – С. 274-277.
6. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 3. Компьютерный практикум. Моделирование процессов в ДВС.: Учебник для вузов / И.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Т.Ю. Кричевская [и др.]; под ред. И.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 414 с.: ил.
7. Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубин Юсоф. Нейроуправление и его приложения. Кн. 2. – Москва: Радиотехника, 2000. – 271 с.

Илюхин А.Н.,

канд. техн. наук,

Валиев Р.А.,

канд. физ.-мат. наук

Распознавание символов на растровом изображении посредством нейронной сети WTA

Одной из главных особенностей человеческого интеллекта является распознавание образов, таких как мимика, речь, а также написание букв,

цифр и других символов. Для распознавания образов человеческий мозг содержит огромное количество нейронов, отвечающих за определенные ассоциации [1]. Следовательно, актуальным вопросом создания искусственного интеллекта является решение задачи распознавания символов на растровом изображении, посредством искусственной нейронной сети.

Задача распознавания символов решается путем кластеризации, которую можно осуществить различными нейронными сетями, такими как многослойный персептрон, сети Липпмана-Хемминга, карты Кохонена, модификация модели Хопфилда, нейронные сети WTA. Все эти сети показали хорошие результаты при решении подобного класса задач, но наиболее точно решить задачу кластеризации позволяют нейронные сети WTA, следовательно, именно их и выберем для создания системы распознавания символов [2].

Процесс распознавания начинается с ввода растрового изображения символа. Данное изображение разбивается на пиксели, от количества которых будет зависеть входной вектор, подаваемый на нейронную сеть. Входной вектор заполняется значениями 1 или 0 в зависимости от того, закрашен пиксель или нет. Затем вычисляются значения выходов сумматоров по формуле:

$$U_i = \sum_{j=0}^i w_{i,j} x_j, \quad (1)$$

где U_i – выходы сумматоров;

w_{ij} – весовые коэффициенты сумматоров, заданные путем обучения нейронной сети;

x_j – входной вектор, подаваемый на нейронную сеть.

На следующем этапе происходит выборка максимального значения из массива сумматоров, для определения нейрона-победителя. Зная нейрон-победитель, возможно определить то значение символа, которое ему соответствует.

Для того чтобы реализовать описанный выше процесс распознавания символов, необходимо решить задачу обучения нейронной сети путем подбора значений весовых коэффициентов сумматоров. Процесс обучения представлен в виде алгоритма на рисунке 1. На начальном этапе случайным образом назначаются значения весовых коэффициентов, нормализуемых по следующей формуле:

$$\frac{x_i}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2}}.$$

На следующем этапе определяется выход нейронной сети, который будет соответствовать символу, для которого проводят обучение. Затем на основе формулы 1 вычисляются значения выходов сумматоров. После расчета выходов сумматора определяется тот выход, который является максимальным. Если значение этого выхода совпадает с желаемым, заданным на начальном этапе, то обучение заканчивается и сохраняется матрица весов в виде файла. В противном случае производится корректировка весов по правилу Гроссберга, и процесс повторяется заново.

Аналогично используя данный алгоритм, производится обучение нейронной сети всем символам, которые она должна распознавать. Подобный вид обучения называют обучением с учителем.

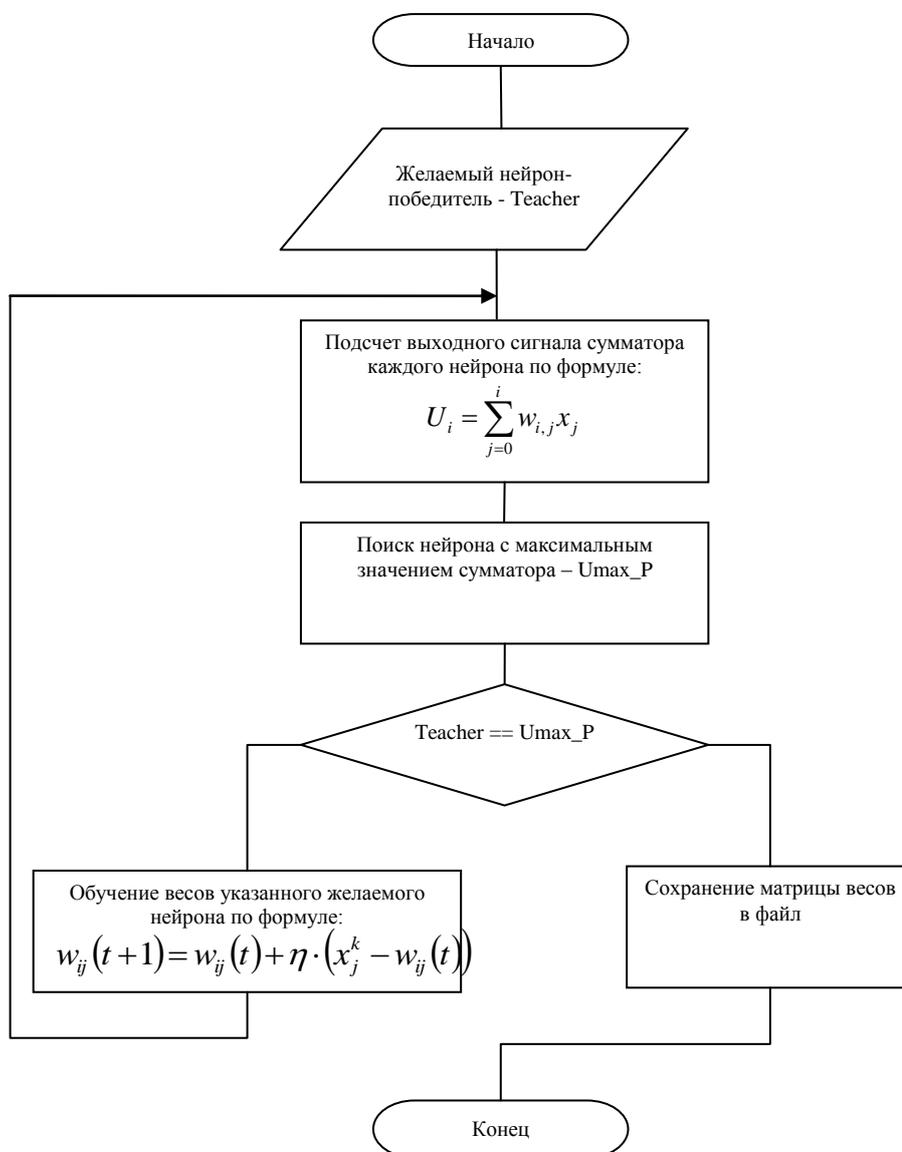


Рис. 1. Алгоритм обучения нейронной сети WTA

Представленные выше метод распознавания символов и алгоритм обучения нейронной сети был реализован в виде компьютерной программы Recognition Symbols на языке программирования – Microsoft Visual C# 2010 [3].

Программа Recognition Symbols моделирует однослойную нейронную сеть из искусственных нейронов типа WTA для обучения и далее распознавания символа с растрового изображения. Программно предусмотрено создание нейронов типа WTA, содержащих 4096 нейронов. Каждому нейрону принадлежит свой пиксель из отображаемых на экране компьютера в pictureBox-е с загружаемым растровым изображением.

Для статистического исследования, проверки на практике возможностей, программа Recognition Symbols была обучена для распознавания 3 цифр (1,2,3). Обучение проводилось с малым значением коэффициента обучения $\eta=0,00001$, для более точной настройки весовых коэффициентов. Что повлияло на количество итерация и время обучения. Каждое число было нарисовано по 10 раз, в разных наклонах, разных начертаниях.

Результаты тестирования были следующими:

- из 10 написаний цифры «1» 8 из 10 ответов были верными, т.е. 80%;
- из 10 написаний цифры «2» 9 из 10 ответов были верными, т.е. 90%;
- из 10 написаний цифры «3» 8 из 10 ответов были верными, т.е. 80%.

Конечный итог тестирования для однослойной нейронной сети успешен, общий процент распознавания составил 85% . Для более точного определения необходимы дополнительные корректировки базы. Сами нейроны типа WTA показали свою гибкость и хорошую способность классификации входных данных.

Литература

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации: пер. с польск. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с., ил.
2. Ярушкина Н.Г Основы нечетких и гибридных систем: учеб. пособие. – М: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.: ил.
3. Валиев Р.А., Балашов Д.В., Дильмухаметов И.Р. Илюхин А.Н. Кластеризатор изображения символов. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014660083 РФ, заявлено под

№2014617300 от 22.06.2014, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 01.10.2014 г. Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

Мингалеева Л.Б.,
канд. пед. наук, доцент

**Применение информационных и математических средств
в экологическом проекте по комплексному мониторингу
состояния окружающей среды Закамья**

В Закамье сосредоточены автомобилестроительные производства, активно осуществляется формирование современной инженерной и социальной инфраструктуры. В направлениях развития экономики РТ данный регион выделен как главная точка роста экономики республики. Большое значение придается проекту “Программа Камского инновационного территориально-производственного кластера”.

Федеральная служба государственной статистики публикует бюллетень "Основные показатели охраны окружающей среды", здесь представлены, например, данные по образованию отходов производства. В статистическом бюллетене, по данным официальных статистических данных, отражены основные показатели, характеризующие воздействие экономической деятельности на окружающую среду в разрезе республик, областей и округов, и не всегда они радужны. В РТ ведется постоянная работа в направлении развития технологий производства экологически чистых продуктов, действует комплексная система обращения с отходами.

Но не все предприятия региона считают требования природо-охранного законодательства обязательными для исполнения. Тема экологической безопасности предприятий РТ остается актуальной.

Все эти задачи невозможно решить без эффективного использования современных ИТ-технологий. Таким образом, становится очевидным, что в нашем регионе неотъемлемым атрибутом современного технологичного производства будет требование контроля за влиянием на окружающую среду, осуществление экологического мониторинга, социальной и экологической ответственности предприятий-производителей.

Поэтому разработка автоматизированной информационной системы по экологическому контролю необходима и своевременна, ее актуальность отражена и в документах правительства РФ. Подчеркнуто, что одним из

приоритетных направлений управления народным хозяйством является использование информационных технологий, применение проектно-целевого подхода [1].

Целью разработки программного приложения в виде экологического проекта является обеспечение безопасности и безвредности для человека среды обитания путем контроля выполнения экологических, санитарных правил, организации и осуществления контроля за их соблюдением. Документальную основу разработки экологического проекта определяют “Положения о производственном экологическом контроле для предприятий региона Закамья”, разработанные в соответствии с указанными документами [2-4].

Для выполнения проекта важно сформировать базу данных экологического проекта. Одной из ее составляющих будет таблица, отражающая перечень химических веществ, биологических, физических и иных факторов, а также объектов производственного контроля, представляющих потенциальную опасность для человека.

Например, на территории ООО ПФ «XXX», в местах организации мест временного хранения отходов негативное воздействие на окружающую среду, представляющее потенциальную опасность для человека, имеет целый арсенал материалов. Это ртутные лампы, обтирочный материал, отработанные моторные, трансмиссионные, индивидуальные масла, отработанные воздушные, масляные фильтры, мусор от бытовых помещений организаций, выделенная в воздух пыль, отходы лакокрасочных материалов, отработанные аккумуляторы и др.

С целью соблюдения природоохранного законодательства РФ любое предприятие должно составить целый пакет документов. В состав пакета входят паспорта опасных отходов; лимиты на размещение отходов; разрешения на выброс в атмосферу; формы государственной статистической отчетности (2-ТП отходы, 2-ТП-воздух, 2-ТП-водхоз), а также документы, подтверждающие обученность персонала служб контроля и технологии комплектования отходов по видам, ведению документации для отчета; пролонгированные договоры с экологическими компаниями; ежеквартальные отчеты и платежи за негативное воздействие на окружающую среду; планы природоохранных мероприятий.

Для обеспечения успешной деятельности предприятия и экологического благополучия окружающей среды необходимы информационные технологии, они предполагают использование различных информационных ресурсов, в том числе и Интернет.

Проектно-целевой подход предполагает создание экологических

проектов для достижения обоснованных целей и организацию оперативного управления. Деятельность промышленных предприятий в рамках проектно-целевого подхода осуществляется в виде проектов.

Информационная среда является уникальным инструментом для реализации взаимоотношений между потребителем и компанией для современного бизнеса, раскрывает огромные возможности в организации информационного взаимодействия между партнерами. Она имеет впечатляющий своими размерами охват аудитории, быстрое действие, удобство и доступность.

Алгоритм выбора современных математических и информационных средств, которые можно использовать для реализации экологического проекта, включает:

1) выбор новой формы информационных технологий/ математического пакета. Изучение ее потенциальных характеристик, технических условий функционирования;

2) анализ и сопоставление новой формы с традиционными решениями проблем;

3) выявление специфики и преимуществ нового инструментария.

В случае достоверности и значимости полученных результатов принимается решение о дополнении инструментальной базы проекта новым информационным или математическим средством.

В настоящее время, во время глобальной информатизации, несомненным является то, что любая деятельность носит информационный характер. Осуществление экологического мониторинга будет сопровождаться сбором и передачей информации, обработкой и представлением данных, осуществлением прогнозирования. Важен не только факт получения информации о состоянии окружающей среды, но и ее оперативность, полученная в системе экологического мониторинга, так как именно на основе этой информации осуществляется предотвращение или устранение негативной экологической ситуации, производится оценка неблагоприятных последствий изменения состояния окружающей среды, разработка экологических прогнозов.

Оперативное осуществление базовых, примитивных информационных операций хранения, поиска, приема, передачи информации позволит получить положительный результат. Наиболее полно информационная деятельность осуществляется сейчас с помощью интернет-технологий. Для эффективной проектной деятельности нужно информационно связать структурные звенья предприятия на качественном управленческом уровне. Наиболее известные современные информационные технологии и ресурсы:

видеотехнология, мультимедиа-технология, нейрокомпьютерные технологии, объектно-ориентированная технология, интернет-технология. Интернет в современных условиях играет значительную роль, поскольку является наиболее емким в информационном отношении хранилищем данных по самым разнообразным предметным областям.

Рассмотрим математические средства для использования в экологическом проекте по мониторингу состояния окружающей среды.

Качество проектов, их оценки проводятся в соответствии с теорией эффективности систем. При этом нам придется применить методы системного анализа в процессе построения системы. Оценка производится для оптимизации, для идентификации, для принятия решения. В основе оценки лежит процесс сопоставления значений качественных и количественных характеристик исследуемой системы.

Как можно определить эффективность, качество функционирования разработанного проекта? Известны три способа оценки: необходимо иметь некий эталон, меру качества; качество можно определить на данном этапе функционирования, если известны состояния системы на нескольких предыдущих этапах, то есть также путем сравнения; качественное состояние системы на конкретном этапе можно определить путем сравнения ее с другими аналогичными системами.

Первый способ неприемлем, так как сложно определиться с эталоном. Наиболее приемлемым способом для нас является третий способ, именно он используется на практике. В настоящее время существует сотни методик сравнения проектов одного и того же типа.

Интерес вызывает методика на основе теории Клода Шеннона, с использованием формулы информационной энтропии. Энтропия — это количество информации, приходящейся на одно элементарное сообщение источника, вырабатывающего статистически независимые сообщения. Определим численное значение энтропии, то есть степень разброса значений параметров в каждой группе, с помощью формулы К. Шеннона:

$$H = \sum P_i * \ln(1/P_i),$$

где P_i – вероятность каждой оценки параметра в i -том проекте.

Рассчитаем вероятности для каждого проекта по известной формуле:

$$P(A) = \frac{m}{n},$$

где m – количество благоприятных событий;

n – кол-во всевозможных событий.

Чем больше энтропия признака, тем больше неупорядоченности в системе, тем самым тормозится достижение цели. Чем больше величина

энтропии признаков, тем большее внимание ему должен уделять управляющий орган системы для уменьшения неупорядоченности. Признаки с большим значением энтропии приобретают большую значимость. Чем меньше величина энтропии признака, тем больше организованность рассматриваемого объекта. С признаками, имеющими малую энтропию, все спокойно, их значимость невелика. Рассмотренная методика оценки проектов особенна тем, что найденные на данном этапе функционирования сравниваемых проектов оценки параметров не являются статичными. Они динамичны во времени, их всегда можно измерить повторно.

Известно, что управление проектом, в том числе и экологическим, находится на стыке многих дисциплин. Рассматривая и обосновывая комплексный подход к созданию экологическим проектом, мы исходим из того, что использование комплексного подхода связано с тем, что область информационных технологий связана с вычислительной техникой, компьютерными системами и сетями, которые позволяют порождать, хранить и автоматически перерабатывать информацию в огромных количествах. Комплексный подход к информационным процессам становится необходимым и возможным из-за связи с математикой, кибернетикой и компьютерным моделированием и другими естественнонаучными направлениями.

Анализ существующих экологических проектов [5] показал, что в применяемых системах эко-контроля, экологических проектах отсутствуют общепринятые в условиях информатизации общества инструменты, применяется однобокий подход.

Выявим сущностные существующие интерпретации понятия «проект».

Во-первых, отличие проекта от текущей деятельности – это уникальность. Современные экологические проекты отличаются рядом признаков, которые определяются режимами обработки и передачи информации: сетевой, пакетный, реального времени, разделения времени, интерактивный и диалоговый.

Кроме того, если раньше проекты реализовывались благодаря природной одаренности отдельных личностей, то успех проектов сегодня достигается в результате деятельности профессиональных руководителей и команд. Команда проекта – это основная структурная единица участников проекта. Реализация проекта происходит в рамках организационной формы, структура ее значительно влияет на проект. Жизненный цикл эко-проекта, как и обычного, разделяют на три фазы, это прединвестиционная,

инвестиционная и эксплуатационная фазы. Дальше разбиение зависит от специфики проекта.

Под результатом проекта понимают некоторую продукцию, результаты, полезный эффект проекта. Результатом, в случае экологического проекта, является современное программное средство.

Об успешности проекта судят по тому, насколько результат соответствует по своим затратным, доходным, инновационным, временным, качественным, экологическим и другим характеристикам. В современных условиях проектная организация работы в области экологии является предпочтительной и единственно приемлемой.

Современный проект должен поддерживаться ИТ-технологиями, для этого необходимо: создать и поддерживать в актуальном состоянии базы данных по фазам и этапам жизненного цикла; внедрить современные системы планирования, контроля, средств обработки и передачи данных.

Использование современных поколений продуктов от Microsoft предоставляет широкие возможности. Для реализации экологического проекта мониторинга окружающей среды выбраны среда разработки программных приложений Visual Studio .Net и объектно-ориентированный язык C#. В данной среде возможны многие типы проектов. Существенными для нас являются WinForm-проекты и библиотеки классов.

Реализация новых экологических проектов в информационном обществе невозможна без использования интернет-ресурсов. Привлечение интернет-ресурсов основано на информационном характере проектной деятельности. Степень сложности используемой информационной технологии должна соответствовать сложности и размеру проекта.

В современных условиях проектная деятельность носит информационный характер на всех этапах жизненного цикла проекта и требует учета специфики понятия информация.

Итак, с учетом информационного подхода приведем следующее определение проекта: это конечная целенаправленная цепочка, алгоритм обработки информации с привлечением членов команды проекта, современных технологий, современных технических средств, информационных ресурсов.

Специфика современного экологического проекта проявляется в динамичности во внешней среде. Приведем общую характеристику современных экологических проектов с привлечением информационных ресурсов:

1) они наукоемкие, основываются на самых последних достижениях науки и техники;

- 2) они сложны, это интеллектуальный продукт, рост объема знаний обусловил усложнение проектов;
- 3) результат проектной деятельности носит информационный характер и представляет собой программный продукт;
- 4) реализация проекта носит групповой, командный, коллективный характер;
- 5) IT-проект относится к специфическим областям предпринимательства;
- 6) особенностью экологического IT-проекта является его инновационность.

Литература

1. Информационное общество (2011 - 2020 годы): госпрограмма РФ, утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 20 окт. 2010 г. № 1815-р. <http://www.rg.ru/2010/11/16/infobschestvo-site-dok.html>. – Дата обращения 01.04.2014.
2. Об охране окружающей среды: федер. закон РФ от 10.01.2002 г. №7-ФЗ [Электронный ресурс]. – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_166326/ / Дата обращения: 01.05.2014.
3. Об отходах производства и потребления: федер. закон РФ от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ [Электронный ресурс]. – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_166326/ / Дата обращения: 10.04.2014.
4. Об охране атмосферного воздуха: федер. закон РФ от 04.05. 1999 г. №96 –ФЗ [Электронный ресурс]. – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_16_6326/ / Дата обращения: 01.04.2014.
5. Российские экологические проекты [Электронный ресурс]. – http://ecodelo.org/rossiyskaya_federaciya/sibirskiy_fo/ /Дата обращения: 21.01.2015.

Мулюков Р.И.,
канд. техн. наук

Модели и алгоритмы автоматизированного проектирования технологических процессов объемной штамповки

Современное машиностроительное производство функционирует в жестких экономических условиях. Они связаны с состоянием

реформирования экономики страны, а также с неблагоприятными внешнеэкономическими обстоятельствами и выражаются в высокой конкуренции на рынке готовой продукции, сложностях с финансированием проектов, в т.ч. запуска новых производств. В такой ситуации значительно возрастает роль производственных решений, позволяющих повысить конкурентоспособность предприятия и его продукции и сократить финансовые затраты на всех стадиях жизненного цикла изделия, начиная с его проектирования, разработки технологии, собственно производства и заканчивая утилизацией.

Автоматизация проектирования технологии объемной штамповки позволяет сократить временные затраты на проектирование, лучше учесть требования заказчика и соотнести их с производственными возможностями, а также, при использовании средств моделирования, сократить затраты времени и финансов на какие-то из стадий опытно-конструкторских работ.

Эти обстоятельства обуславливают важность выбора наиболее эффективного алгоритма автоматизации проектирования объемной штамповки.

Рассмотрим существующие подходы к проектированию технологии. При традиционном подходе, когда технология разрабатывается, опробуется и затем при необходимости дорабатывается, затрачивается много времени и ресурсов для доводки технологии. Проектирование с использованием статистических моделей – на базе опыта успешных аналогичных производств – ускоряет и удешевляет процесс проектирования, но ограничивает его уровнем существующих производств. Метод имитационных моделей позволяет рассматривать упрощенную модель технологического процесса и отрабатывать изменения его структуры и параметров на этой имитационной модели – но требует наличия такой модели для каждой схемы обработки металлов давлением, что не всегда достижимо. Проектирование с применением математического моделирования – наиболее точное по результатам, но требует сложного математического аппарата, для сложных конфигураций поковок его получение затруднительно. Таким образом, сбалансированный рациональный метод выбора структуры и параметров технологического процесса объемной штамповки подобрать сложно. На основе проведенного анализа, на наш взгляд, перспективным является алгоритм, основанный на построении системной модели для автоматизации технологической подготовки производства.

Как построить системную модель технологии объемной штамповки? Системный подход, согласно [1], – это рассмотрение объекта в качестве системы – совокупности взаимосвязанных элементов, которые объединены единством цели и функциональной целостностью, и при этом свойства самой системы не сводятся к сумме свойств ее элементов. Произведем анализ системы технологии производства поковок. Прежде всего, система идентифицируется как целое и вычленяется из среды – в нашем случае машиностроительного производства. Среда – внешняя по отношению к объекту система, имеющая на фоне находящихся в ней объектов определенный набор свойств. Состояние среды характеризуется вектором Z . Одинаковая для всех находящихся в среде объектов составляющая вектора Z характеризует внешние условия $Z(Y)$. Остальные компоненты вектора Z описывают окрестностные условия $Z(O)$ (различные объекты, взаимодействующие с данным):

$$Z=Z(Y)U Z(O).$$

Свойства объектов предметной области подразделяются на внешние Y и внутренние X . Во внешних свойствах объектов выделяются два подмножества: $Y(H)$ – функциональные (назначения), $Y(Y)$ – утилитарные (нефункциональные) свойства. К функциональным свойствам относят те, которые подлежат непосредственной реализации при использовании объекта по прямому назначению. Утилитарные свойства обычно представляют через такие категории, как: объем, масса, стоимость и т.п.:

$$Y=Y(H)UY(Y).$$

Внутренние свойства X отображают физический или какой-либо другой процесс, а также техническую форму его реализации как принцип действия данного объекта.

Применительно к технологии производства поковок, окрестностные условия среды $Z(O)$ составят:

- предметы обработки (заготовки, полуфабрикаты), поступившие с предыдущей фазы обработки, состояние которых характеризуется вектором внешних и внутренних свойств $Z(O1)$;

- продукт технологии (поковка или деталь), состояние которого отображается вектором свойств $Z(O2)$. Суммарно $Z(O)=Z(O1)UZ(O2)$.

Внешние условия среды $Z(Y)$ технологии объемной штамповки отражают: условия функционирования средств технологического оснащения (инструмента, оснастки, оборудования, средств автоматизации), реализующего данный процесс; условия, в которых находятся продукты и предметы обработки (температура, давление,

квалификация персонала и т.п.); а также тип производства, в котором используется технология (массовое, серийное, единичное, опытное).

Внешние свойства объекта отображаются вектором Y и подразделяются на:

- функциональные свойства $Y(N)$, главное из которых состоит в преобразовании предмета обработки в продукт $Y(N1):Z(O1) \rightarrow Z(O2)$, а также параметры производительности технологии $Y(N2)$ (число одновременно штампуемых поковок, цикл процесса и др.);

- утилитарные свойства $Y(Y)$, в частности, характеризующие ресурсоемкость $Y(Y1)$ (трудоемкость, металлоемкость, энергоемкость, фондоемкость, капиталоемкость), степень экологической безопасности ТП $Y(Y2)$ и др.

Внутренние свойства X целесообразно представить параметрами, характеризующими физический процесс $X(N)$, техническую форму реализации этого процесса $X(\Phi)$, а также режим функционирования технологического оборудования $X(O)$, используемого в данном процессе: $X \subseteq X(N) * X(\Phi) * X(O)$.

Далее в главе каждое из этих свойств рассматривается подробно, расписываются все его элементы. Это необходимо для возможности дальнейшего их использования при проектировании технологии производства поковок.

Все элементы системы технологии объемной штамповки, которые могут быть четко классифицированы, описываются с помощью кодификаторов – записей, состоящими из полей, отражающих ту или иную характеристику элемента. Например, код оборудования может быть записан в следующем виде:

X ... X. X. X. X. X. X
1 2 3 4 5 6,

где 1 – технологическая специализация; 2 – конструктивно-кинематический тип; 3 – уровень автоматизации; 4 – число позиций штамповки; 5 – число подвижных рабочих органов; 6 – модель оборудования.

Кодификаторы $Z(Y)$, $X(N)$, $X(O)$ могут быть объединены в интегративный кодификатор. При их объединении образуется морфологическая матрица технических форм реализации технологии объемной штамповки (табл. 1).

Таблица 1

Фрагмент морфологической матрицы технологии объемной штамповки

Код группы	Код признака и наименование	Код варианта признака	Примеры технических вариантов форм объемной штамповки
X (N1)	1. Способ формообразования	1...3	(3)–(3)–(3)–(3)–(3)
	2. Агрегатное состояние заготовки	1...4	(1)–(1)–(1)–(1)–(1)
	3. Температурный режим заготовки	1...6	(5)–(5)–(5)–(5)–(5)
	4. Фазовое состояние заготовки	1...4	
	5. Структурное состояние заготовки	1...4	
	6. Физические процессы в заготовке	1...5	(3) (2)
	7. Режим последеформационного охлаждения заготовки.	1...5	(2)
	8. Разновидность	1...	(461)(431)(461)(422)(431)
	9. Скорость деформирования	1...5	(1) (2)
Z (Y2)	1. Агрегатное состояние среды	1...7	
	2. Давление среды	1...4	
	3. Химическая активность среды	1...6	
	4. Температура среды	1...3	(6) (4)
X(O)	1. Тип машины	1...	(114)–(41)–(41)–(51)–(41)
	2. Тип инструмента	1...	(3)–(3)–(3)–(2)–(3)
Z (Y1)	1. Вид трения на контакте	1...3	
	2. Направление действия сил трения	1...3	(2)
	3. Температура на контакте	1...3	(4)
	4. Характер контакта	1...3	(2)
ХОШ на холодновысадочных автоматах Холодное выдавливание с активным трением на гидравлическом прессе Штамповка в режиме сверхпластичности на г/прессе Поперечная клиновидная вальцовка на стане в режиме ВТМО Холодное выдавливание жидкостью высокого давления с приложением ультразвуковых колебаний к инструменту			← ← ← ← ←

Конструкторско-технологическая информация о детали описывается в виде трех множеств G, DD, P:

$$G = (X, Y, R, C, OS),$$

где X – множество координат X сечения детали; Y – множество координат Y сечения детали;

R – множество радиусов скругления; OS – информация об опасном сечении детали.

DD = (TD, Md, MO, MШ, md),

где TD – тип детали; Md – материал детали; MO – механические свойства, которые желательно улучшить; MШ – минимальная шероховатость; Md – масса детали.

P = (КФ, Шп, ТО, МС, ПК, ГЛ),

где КФ – код формы поверхности; Шп – шероховатость поверхности; ТО – вид термообработки; МС – твердость поверхности; ПК – вид гальванических покрытий; ГЛ – глубина термообработки.

Произведя таким образом декомпозицию системы технологии объемной штамповки, мы можем перейти к проектированию технологии как синтезу элементов, входящих в систему.

Таким образом, мы рассмотрели системную модель предметной области «Технология объемной штамповки», позволяющую анализировать связи между элементами технологии – операциями, процессами формоизменения, их параметрами, обладающую открытой иерархической структурой, что дает возможность легкой ее модификации при появлении нового знания или уточнении существующих взаимосвязей между элементами, и являющейся основой для проектирования технологии объемной штамповки.

Литература

1. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М: СИНТЕГ, 2000. – 528 с. (Серия "Системы и проблемы управления").

Хазиев Э.Л.,
ст. преподаватель

Система автоматической идентификации на основе алгоритма двумерного штрихового кодирования

Предлагаемый метод штрихового кодирования может быть использован в системах автоматического распознавания.

Символ предлагаемого метода штрихового кодирования состоит из фиксированного числа модулей и кодовых слов. 300 кодовых слов могут использоваться для кодирования режимов (URL-ссылки, параметры и состояние товара, транспортно-логистические данные), данных, управляющих функций символики и исправления ошибок. Можно использовать структурированное соединение для объединения до восьми символов-столбцов. Число параметров символики зависит от применения, включая уровень коррекции ошибки и режим, предусмотрена возможность переключения между кодируемыми наборами знаков. Кодирование символов штрихового кодирования производится автоматически, благодаря возможности программирования системы считывания.

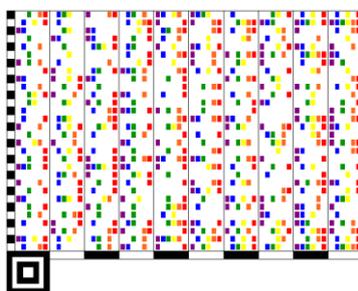


Рис. 1. Символ предлагаемого метода штрихового кодирования

Каждый символ предлагаемого алгоритма штрихового кодирования состоит из прямоугольного шаблона поиска, расположенного слева внизу символа. С шаблоном поиска с двух сторон соединены строка и столбец ориентации, которые в правом верхнем углу символа окружают массив из столбцов-модулей. Длина каждого столбца символа 30 модулей.

Шаблон поиска состоит из двух concentric прямоугольников черного цвета и двух внутренних светлых областей, расположенных относительно области шифрования слева внизу. Ориентация информации осуществляется за счет строки и столбца ориентации (они составляют шаблон ориентации) и примыкающих к шаблону поиска сверху и справа.

На рисунке 2 показан шаблон поиска и шаблон ориентации.

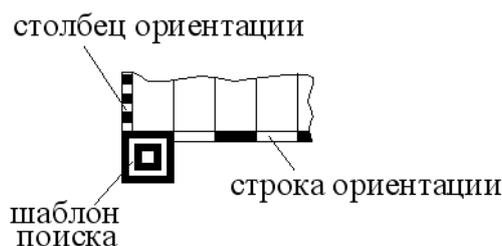


Рис. 2. Шаблон поиска и шаблон ориентации

Символ штрихового кодирования состоит из 300 модулей символа в первичном и вторичном сообщениях, расположенных в следующей последовательности:

1. Модули символа первичного сообщения (с 1-го по 60-й) расположены в первых двух левых столбцах символа. Они содержат информацию первичного сообщения, включая данные о кодируемом наборе, индикаторе структурированного соединения, информацию о коррекции ошибки и о режиме.

2. Модули символа вторичного сообщения (с 61-го по 300-й) расположены в третьем и последующих столбцах, количество столбцов может быть увеличено, если применен метод структурированного соединения. В этих модулях кодируется информация непосредственно самого сообщения пользователя.

Кодовые слова имеют значения от 0 до 63; в двоичном представлении – от 000000 до 111111. Каждое кодовое слово представлено модулем прямоугольной формы. Информация в каждом модуле представлена в двоичном разряде. Цветная ячейка модуля – это единица, а светлая – нуль; При этом каждому биту соответствует свой цвет, так старшему биту соответствует цвет красный, далее идут оранжевый, желтый, зеленый, синий, фиолетовый. Благодаря цветовой дифференциации возможно нанесение цветов битов не в соответствии с порядком в конкретном модуле, единственное условие – должны соблюдаться номинальные расстояния между центрами модулей данных. Дело в том, что для каждого цвета существует своя уникальная интенсивность отраженного света, эта интенсивность находится в определенных пределах, и эти пределы неодинаковы для всех цветов, используемых в предлагаемом методе штрихового кодирования. Благодаря этому принципу можно построить систему однозначной интерпретации цветов с битами сообщений, то есть каждому биту в модуле символа соответствует свой уникальный цвет.

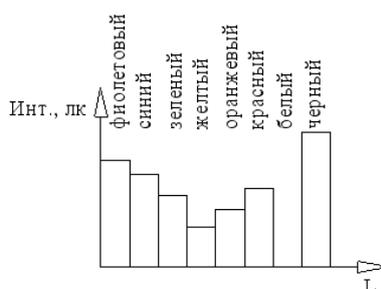


Рис. 3. Интенсивность отраженного света, от цветowych участков символа

Исправление ошибок осуществляется с помощью кодовых слов коррекции ошибок, содержащихся в символах предлагаемого метода штрихового кодирования, составленных на основе алгоритма исправления ошибок Рида-Соломона, которые могут быть использованы не только для обнаружения ошибок, но и для исправления неправильно декодированных или пропущенных кодовых слов. Пользователь может выбрать один из двух уровней коррекции ошибок.

Предусмотрены разные режимы кодирования в зависимости от назначения кодируемой информации, поэтому режимы – это механизм, допускающий использование различных структур символа. Предусмотрены шесть режимов.

Также применена интерпретация расширенного канала (Extended Channel Interpretation - ECI) – механизм, позволяющий представлять знаки из других наборов (например, кириллический алфавит, арабский, греческий, иврит), а также другие интерпретации данных или специальные отраслевые требования.

В алгоритме использовано структурированное соединение – свойство, позволяющее представлять файлы данных в виде нескольких дополнительных (до восьми) столбцов символа. Первоначальные данные могут быть безошибочно воссозданы независимо от последовательности, в которой были считаны столбцы.

Символы делятся на первичное и вторичное сообщения, каждое из которых содержит данные и кодовые слова коррекции ошибки (рисунок 4).

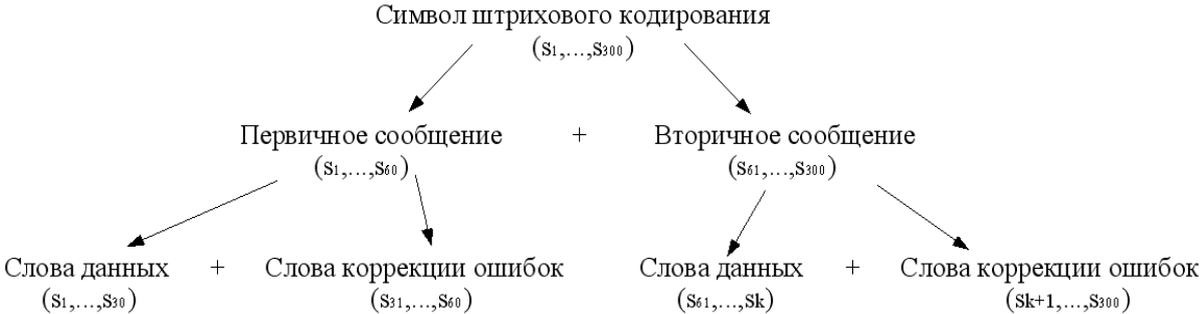


Рис. 4. Структура символа и обозначения знаков символа: во вторичном сообщении кодовые слова коррекции ошибок вычисляются в четном и в нечетном подмножестве; k = 199 для стандартной коррекции ошибок, k = 176 для расширенной коррекции ошибок

Первичное сообщение состоит из 60 знаков символа, которые обозначены на рисунке 4 от 1 (S₁) до 60 (S₆₀). При этом:

30 знаков (от s_1 до s_{30}) используют для кодирования данных (включая режим символа),

30 знаков (от s_{31} до s_{60}) используют для коррекции ошибок.

Четыре бита старшего порядка знака символа s_1 (модули с 3-го по 6-й) кодируют режим. Другие два бита в s_1 в модулях в с 3-го по 6-й должны быть равны нулю, если не являются частью структурированного сообщения носителя. Расширенная коррекция ошибок всегда применяется к первичному сообщению.

В режимах 1, 2 и 3 первичное сообщение представляет собой форматированное структурированное сообщение носителя. В режимах с 4-го по 6-й первичное сообщение содержит знак режима символа и девять знаков символа, которые начинают кодирование сообщения данных символа.

Вторичное сообщение состоит из 239 знаков символа, обозначенных на рисунке 4 от 61-го (s_{61}) до 300-го (s_{300}). Ко вторичному сообщению можно применить один из двух уровней коррекции ошибок, как расширенную коррекцию ошибок РКО (Enhanced Error Correction – EEC), так и стандартную коррекцию ошибок СКО (Standard Error Correction – SEC).

При расширенной коррекции ошибок (EEC):

- 115 знаков символа (от s_{61} до s_{176}) используют для кодирования данных, а
- 111 знаков символа (от s_{177} до s_{300}) – для исправления ошибок.

При стандартной коррекции ошибок (SEC):

- 138 знака символа (от s_{61} до s_{199}) используют для кодирования данных, а
- 100 знаков символа (от s_{200} до s_{300}) – для исправления ошибок.

В обоих случаях исправление ошибок для вторичного сообщения применяется в двух чередующихся подмножествах Рида-Соломона, обозначенных как четное и нечетное подмножества. Знаки символа с нечетными номерами $s_{61}, s_{63}, s_{65}, \dots, s_{299}$ входят в последовательность нечетного подмножества, а знаки символа с четными номерами $s_{62}, s_{64}, s_{66}, \dots, s_{300}$ – в последовательность четного подмножества. В каждом подмножестве кодовые слова коррекции ошибок выводятся из кодовых слов данных в этом же подмножестве и, в конечном счете, обеспечивают исправление ошибок для кодовых слов данных в этом подмножестве.

Литература

1. Мир математики: в 40 т. Т.2: Жуан Гомес. Математики, шпионы и хакеры. Кодирование и криптография: пер. с англ. – М.: Де Агостини, 2014. – 144 с.

Хуязтова Л.Б.,
ст. преподаватель,
Гибадуллина Г.Р.,
ст. преподаватель

Решение проблемы импортозамещения программного обеспечения корпоративных систем

Импортозамещение в отрасли информационных технологий для отечественной экономики является одним из важных вопросов в обеспечении информационной безопасности и достижении технологической независимости [1]. В связи с этим особый интерес приобретает существующее российское программное обеспечение класса корпоративных информационных систем, определение возможностей его использования на отечественных предприятиях, а также выявление его достоинств и недостатков.

Нужно отметить, что программы класса корпоративных информационных систем пришли в нашу экономику от западных разработчиков и были внедрены на крупных промышленных предприятиях. Сегодня программное обеспечение (ПО) класса MRPII и ERP представлено на российском рынке программами BAAN, SAP/R3, SAP/ERP. Обладая определенными бесспорными преимуществами, данные системы, тем не менее, имеют ограничения в их использовании на отечественных предприятиях.

В первую очередь, это дороговизна. Предприятия тратят очень большие средства не только на закупку, но и на внедрение и поддержку. При этом требуется наличие квалифицированных специалистов, обучение которых у нас практически не организовано, в том числе и из-за дороговизны.

Во-вторых, на нашем рынке представлены нерусифицированные версии, а это требует обязательного знания иностранного языка для пользователя.

Третья проблема – практическое отсутствие специалистов по данным продуктам на предприятии, что приводит к выполнению основной работы по изменениям и поддержке продукта дорогостоящими иностранными специалистами.

С практической точки зрения иностранная система не всегда соответствует нашим технологиям управления, из-за чего предприятию приходится принимать половинчатые решения по тем или иным процессам управления. При этом надо иметь в виду, что на эту программу полностью завязан производственный цикл, и любые неполадки в программном обеспечении связаны с огромными убытками для предприятия.

В то же время данные продукты приходится интегрировать с «заводскими» программами частного характера, без которых нельзя получить полноценную информацию либо на входе в систему, либо на выходе из нее. Из российских стандартных программных продуктов чаще всего используется программное обеспечение фирмы «1С», которая, являясь разработчиком программного обеспечения для российского сектора экономики, уже доказала свою состоятельность. Она разработала программные продукты для многих отраслей и специализаций народного хозяйства. В это число входит и программное обеспечение класса ERP систем, такие как «1С:Управление производственным предприятием 8» и «1С: ERP Управление предприятием 2.0».

«1С:ERP Управление предприятием 2.0» является инновационным решением для построения комплексных информационных систем управления деятельностью многопрофильных предприятий с учетом лучших мировых и отечественных практик автоматизации крупного и среднего бизнеса. Решение на новой современной версии 8.3 платформы "1С: Предприятие" разработано при участии специально созданного экспертного совета, в который вошли специалисты ведущих партнеров "1С" (Центры компетенции по производству, Центры разработки "1С") и руководители профильных подразделений крупных промышленных предприятий. До выпуска финальной версии производилось изучение и тестирование данного продукта сотнями партнеров и десятками клиентов на пилотных внедрениях.

В продукте реализованы функциональные возможности, востребованные крупными предприятиями различных направлений деятельности, в том числе с технически сложным многопередельным производством. Такой подход позволил существенно расширить возможности и область применения нового ERP-решения по сравнению с "1С: Управление производственным предприятием" редакции 1.3.

Ключевыми преимуществами этого решения являются:

- широкие функциональные возможности на уровне ERP-систем международного класса;
- гибкая и производительная современная платформа, поддерживающая работу через Интернет, в том числе «облачные» технологии и работу на мобильных устройствах;
- большое количество специализированных решений, расширяющих возможности системы на единой платформе (PDM, MES, EAM, PMO, ITIL, CRM, MDM, WMS, TMS, BSC, ECM);
- широкая сеть партнеров с многолетним опытом внедрения ERP-систем (IC: Центры компетенции по ERP решениям);
- невысокая стоимость владения и возможность получения существенного экономического эффекта с ростом производительности труда и быстрым возвратом инвестиций.

Новая система выделяется наличием инновационных решений – разработаны новые подсистемы: а) подсистема управления производством – управление по межцеховым переходам и на операционном уровне, маршрутные листы, управление партиями запуска, групповые и персональные задания на работу, оперативная диспетчеризация, управление по «узким» местам, управление загрузкой, планирование до кванта времени, готовность работы с неточными нормативами; б) подсистема для организации ремонтов – учет объектов ремонта, регистрация наработки, учет текущих и внеплановых ремонтов, интеграция с производственной подсистемой – графики доступности оборудования.

Развитие получили система учета затрат и расчета себестоимости (детализация до объема исходных затрат, наглядность и контроль обоснованности расчета) и подсистема управления финансами (учет в разрезе направлений деятельности, этапы согласования заявок, гибкие правила распределения, эквайринговые операции).

Усовершенствованы механизмы и инструменты бюджетирования: имеются табличная модель бюджетирования, версионирование, расчет плановых показателей, расшифровка данных.

Значительно расширена подсистема для автоматизации торгово-складской деятельности предприятия – управление эффективностью процессов продаж и сделок с клиентом, настраиваемые возможности автоматического ценообразования, использованы регламентированные процессы продаж, расширено управление заказами клиентов, управление торговыми представителями, мониторинг состояния процессов продаж,

обособленный учет по заказам – резервирование потребностей, мобильные рабочие места работников складов, учет многооборотной тары, статистический анализ запасов, управление доставкой и товарный календарь.

А также особо можно выделить, что в системе использованы и новые возможности версии 8.3 платформы «1С: Предприятие» – поддерживается работа в режиме тонкого клиента и веб-клиента.

Конфигурация «Система проектирования прикладных решений» (СППР) предназначена для проектирования прикладных решений (конфигураций) на платформе «1С: Предприятие 8» и ведения технической документации проекта. СППР может быть использована как инструмент для проектирования новых информационных систем, разрабатываемых в среде «1С: Предприятия 8», а также для описания и документирования существующих систем, разработанных ранее без использования СППР (рисунки 1 и 2).

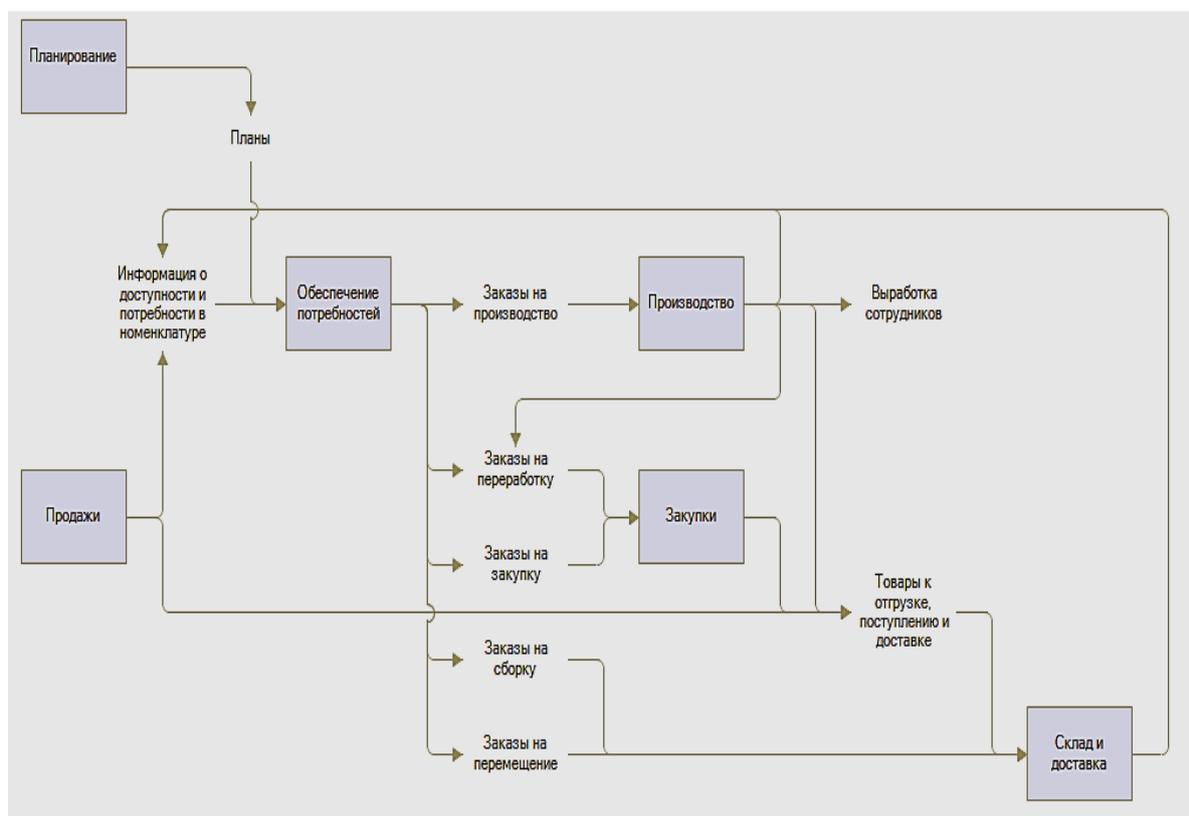


Рис. 1. Диаграмма процесса «Производство» в системе "1С:ERP Управление предприятием 2.0"

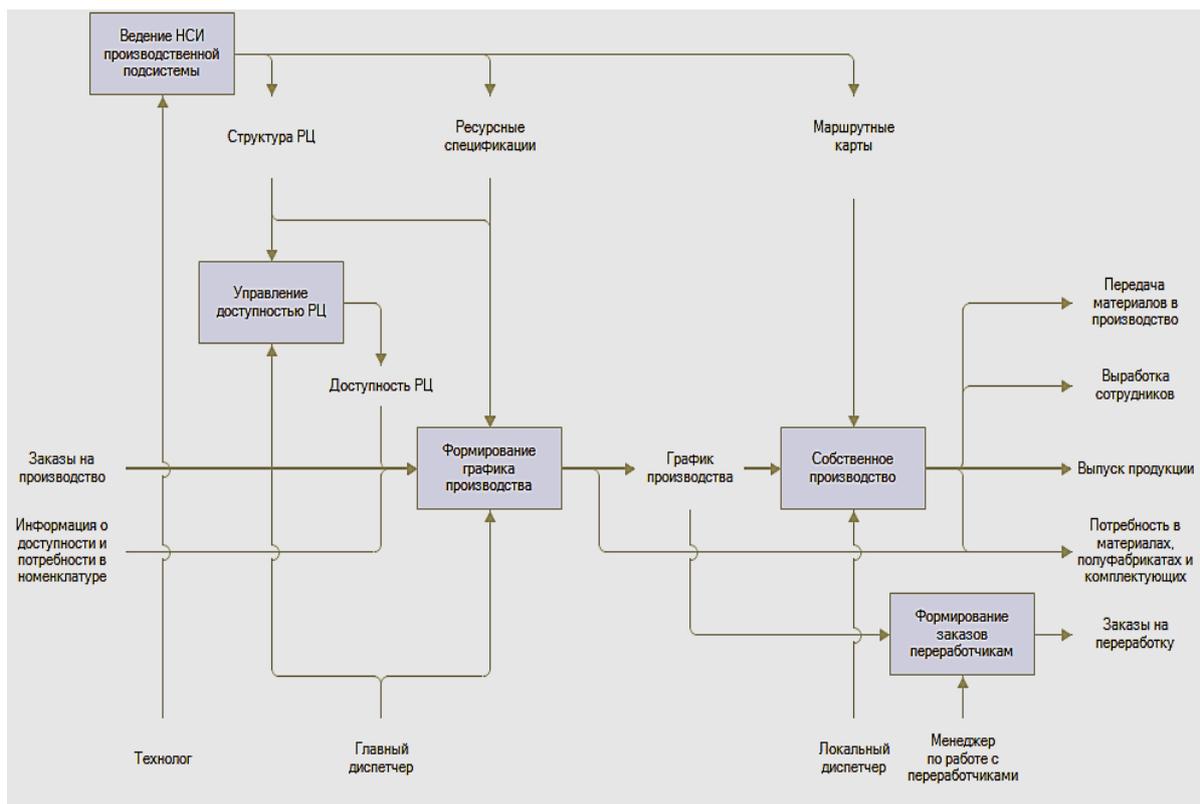


Рис. 2. Декомпозиция диаграммы «Производство»

Программное обеспечение «1С:ERP Управление предприятием 2.0» значительно дешевле своих импортных аналогов, и его внедрение соответственно тоже потребует намного меньше затрат. Также не создаст особых проблем переобучение сотрудников предприятия. К тому же надо учесть, что сегодня на российском рынке работают много фирм-франчайзи 1С, которые всегда готовы оказать услуги практически в любом городе России.

Литература

1. Стратегическая независимость государственных и корпоративных информационных систем. Импортозамещение в сфере ИКТ [Электронный ресурс] // Материалы конференции (Москва, 25 июня 2014 г.). Интернет-журнал «PC Week/RE» <http://www.pcweek.ru/gover/it-independence/publications/>. – Дата обращения 01.02.2015.
2. www.1c.ru – электронный ресурс. – Дата обращения 01.02.2015.

СЕКЦИЯ «ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

Акимов В.Я.,
профессор

Фундаментальные основы живописи, как необходимость в профессиональной деятельности дизайнера

В рабочих программах вузов РФ, готовящих специалистов в области дизайна, сказано почти у всех следующее: «Художественная деятельность, в интеграции с инженерно-конструкторской и научной, является неотъемлемой частью области профессиональной деятельности дизайнера. Академическая живопись в структуре ООП относится к общепрофессиональному циклу дисциплин базовой его части. Освоение дисциплины тесно связано с изучением философии, мировой истории искусств, истории страны, академического рисунка, скульптуры и всех известных направлений и течений в мировом искусстве. Приступая к овладению искусством живописи, студент должен иметь определенные знания из области истории изобразительного искусства, начертательной геометрии и перспективы, иметь представления о способах и приемах реалистического изображения на плоскости, уметь изображать предметы окружающего мира с использованием элементарных законов живописи и приемов передачи пространства в графическом аспекте с применением живописных средств. Овладение базовой частью академической живописи необходимо для дальнейшего освоения курсов истории искусств, рисунка, скульптуры, пластического моделирования, графики, и проектирования».

Графичность и живописность как два метода организации художественного образа объекта дизайнерского продукта (пространство, среда предмет, вид техники) – это две системы мировосприятия, существующие в изобразительном искусстве с древних времен. На самой заре развития человека как мыслящего и разумного субъекта земной жизни, мы видим неразрывную связь этих двух начал. Строгая графичность пропорций архитектурных сооружений, культовых сооружений древних инков, шумер, египетских пирамид, буддийских храмов и дворцов Вавилона – все свидетельствует о единстве двух начал. Дизайн как отдельного предмета, объекта, так и целого комплекса проектирования, направленный на общественную оценку, опирается,

преимущественно, на взятые из живописной базы конструирования концепции и тенденций.

Для дизайна и живописи определены условия их взаимного обогащения, опираясь на общие ценности, они принадлежат к единому классу пространственных искусств. Поэтому живопись выступает как одна из надежных основ формирования творческого мышления дизайнера. Отметим, что образно-стилевые взаимосвязи дизайна и живописи динамично развиваются в истории. Во все времена дизайн успешно осваивал идеи, рождённые живописцами (времена барокко, ренессанс, возрождение, авангардизм и т.д.). В процессе развития дизайна как вида искусства происходит периодическая смена методов художественного развития и проектного мышления, непосредственно продиктованная и связанная с течениями и направлениями в изобразительном искусстве. Архитектурные сооружения, интерьеры, предметы туалета и быта разных времен и эпох – яркое тому подтверждение.

История свидетельствует о таких выдающихся личностях, которые совмещали в себе два этих вида искусства (Фидий, Поликлет, Мирон, Леонардо Да Винчи, Рафаэль, Микеланджело и т.д.). В XX веке это Кандинский, Малевич, Миро, Корбюзье, Пикассо, Дали, Гауди, Хундертвассер и т.д. Исторические стили – ренессанс, классицизм, ампи́р, геометрическая тенденция модерна, направления эпохи модернизма – конструктивизм, функционализм, стилевые направления постмодернизма – хай-тек, минимализм – все это первоначально зародилось в области живописи. Указанные стили, соединяя графичность и живописность, не копируют, но развивают эти методы в дизайне как способ мышления и формообразования. Каждый стиль актуален для современности, поскольку определяет различные образные модели создания продукта дизайнера. Образное решение современного дизайна предмета или среды раскрывается как преобладание тенденций живописности, которая через целостность, динамичность, пластичность, световые и цветовые свойства объектов и структур активно влияет на стилевые начала в проектировании, обладая художественной, образной выразительностью объектов дизайна.

Все ведущие дизайнеры прошлого и современности отмечают, что изобразительные виды искусства должны рассматриваться как «исток и модель», как «образец» для дизайнера. Способность живописца отразить предмет или объект в рамках живописного холста выступает как реальность объекта лишь в дизайне. Живопись трактуется как концептуальная модель подхода для дизайна.

Осмысление методов дизайнерского проектирования, характерных для живописи, обогащает замысел дизайнера, корректирует его, во многом помогает создать проект высокого художественного уровня. В этой связи роль живописи в культуре дизайна раскрывается как эстетический идеал для проектировщика, духовное начало, связующее звено при переводе графического начала на дизайн художественности (целостности, стройности, гармоничности, образности, цветовой привлекательности и т.д).

Известный художник Дж. Моранди средствами традиционной живописи создает объекты высокой концептуальной значимости, полное представление о которых возможно только благодаря раскрытию множества пространственных планов и смысловых акцентов. Живописные произведения мастера воспринимаются как оригинальные, динамичные предметно-средовые системы, отражающие меняющееся восприятие и сознание современного человека.

Идеальная целостность формы и содержания продукта дизайна, когда мы не видим конструкцию, а выразительный художественный образ, – основная цель и живописи, которая совпадает полностью с устремлениями дизайнера.

Целью живописи в дизайне является не только экспериментирование с формой, цветом и пространством, но и преобразование реального жизненного пространства или предмета потребления средствами изобразительного искусства, т.е. живописи.

Современный стремительный технический прогресс способствует созданию унифицированных форм в области дизайна (среды, техники, бытовых изделий, одежды, транспорта) конвейерных производств, штампов и копий. Но есть факторы, которые определяют и направляют формообразование объекта как предмета пользования для определенного круга лиц по религиозным принадлежностям (буддизм, христианство, ислам, иудаизм и т.д.) или национальностям. В данном случае такие критерии, как цвет объекта (изделия) его художественно-цветовые качества имеют определяющую роль в его функционировании как объекта или предмета пользования.

Все перечисленные исторические свидетельства взаимосвязи живописи с дизайном наглядно доказывают незыблемость двуединства графики и живописи в создании предметов пользования и среды обитания человечества. Есть множество исторических свидетельств фактов создания предметов быта и среды обитания известными художниками. Рафаэль и Микеланджело были авторами интерьеров, архитектурных сооружений,

росписей и художественных убранств дворцов в Риме и Ватикане. Леонардо да Винчи в одном лице соединял инженера-конструктора, физика-ученого и художника-живописца. Совершенство его изобретений и мысль художника-дизайнера-конструктора поражает современников до сих пор. Его проекты летательных аппаратов, подводных лодок, предметы оружия и быта выполнены по законам искусства и совершенства форм. Сальвадор Дали выступил в сооружении своего дома сюрреализма как архитектор, дизайнер, скульптор, ювелир и живописец. Знаменитый архитектор Гауди в своем вселенском храме в Барселоне соединил все виды искусства в полном контексте современных течений в изобразительном искусстве (неоклассицизм, кубизм, модерн). Сегодня трудно представить какое-либо крупное производство любых изделий человеческого производства и пользования без участия дизайнера, обладающего высокой культурой знаний, всем арсеналом художественных средств и историей искусств.

Именно вооружение базовыми знаниями стилей, направлений и тенденций в мировом изобразительном искусстве дают дизайнеру возможность создать совершенные новые формы в области дизайна промышленных изделий, техники, одежды, среды обитания и предметов повседневного пользования. Неоднократные круглые столы, диспуты и дискуссии о том, нужно ли изучать предмет «живопись» на кафедрах дизайна, приводят к выводу о том, что базовый, фундаментальный предмет «живопись» является краеугольным камнем в формировании мировоззрения и профессиональной подготовке дизайнера как специалиста.

Анютин В.В.,
доцент

Рисунок как основа формообразования в дизайне

«Рисунок есть основа
всякого искусства».
П.П. Чистяков

«Формообразование (formgeschaltung (gebung) – нем.) – процесс создания формы в деятельности художника, архитектора, архитектора-дизайнера в соответствии с общими ценностными установками культуры и

требованиями, имеющими отношение к эстетической выразительности будущего объекта, его функции, конструкции и используемых материалов. Формообразование в художественном проектировании включает пространственную организацию элементов изделия (комплекса, среды), определяемую его структурой, компоновкой, технологией производства, а также эстетической концепцией дизайнера. Формообразование – решающая стадия дизайнерского творчества; в его процессе закрепляются как функциональные характеристики объекта проектирования, так и его образное решение» [3].

Существует две системы рисования предмета и пространства в учебном рисунке: созерцательная и созидательная. Созерцательная «академическая» методическая система рисования основана на светотеневом копировании натуры в обучении и сборе графического материала (наброски, зарисовки и т.д.) о существующей реальной жизни в творческой работе. Главное в этой системе рисования – изображать правдоподобную иллюзию уже существующей реальной действительности. Эта система рисования соответствует задачам станкового искусства.

Перед художником-дизайнером же стоят совершенно другие задачи. Дизайнер в своем творчестве не отображает существующую реальность, а создает совершенно новый, художественно-предметный, до этого не существовавший мир. Это требует иной методики рисования – научно-аналитического подхода к изображению формы и пространства; созидательного творчества.

Созидательная конструктивно-аналитическая система рисования основана на объективном мыслительно-познавательном процессе. Студент-дизайнер должен научиться анализировать, конструировать, геометризовать форму, выстраивать ее движение в пространстве, то есть научиться основным приемам ее построения сначала с натуры и затем по воображению – от простого к сложному.

Усвоенная в процессе обучения конструктивно-аналитическая система построения (рисования) формы позволяет изображать, проектировать новую, еще несуществующую художественно-предметную среду. В аналитическом рисунке приобретается чувство соразмерности, красоты пропорций форм, хороший вкус, ощущение трехмерности формы, красивой организации-заполнения как листа, так и реального пространства. Большое значение в этом методе придается рисованию живой натуры как вершине конструктивной красоты и образности. Этот метод рисования

позволяет реализовать-изображать любые замыслы-фантазии дизайнера-созидателя.

В развитии творческой личности дизайнера важно не только научиться решать объемно-пространственные задачи формообразования, но и образно мыслить.

«Рисуют головою, а не руками». Микеланджело Буонаротти.

Литература

1. Атавин Ю.А. Предмет и пространство в учебном рисунке. Специфика рисовальных школ художественно-промышленного профиля: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГХПУ им. С.Г. Строганова, 2004. — 250 с.

2. Дубровин А.А. Строгановская школа рисунка. – М.: Сварог и К, 2001. – 352 с.

3. Мартынов Ф.Т. Основные законы и принципы эстетического формообразования и их проявление в архитектуре и дизайне: учеб. пособие / Ф.Т. Мартынов. – Екатеринбург: Уральский архитектурно-художественный институт, 1992. – 110 с.

Ахметов Н.Д.,

канд. техн. наук, доцент,

Гимадеев М.М.,

канд. техн. наук, доцент,

Кривошеев В.А.,

канд. техн. наук, доцент

Исследование монтажной макрогеометрии гильзы цилиндров форсированных дизелей КАМАЗ моделированием в Siemens NX

Гильза цилиндров занимает среди теплонапряжённых деталей двигателя особое место как по выполняемым функциям, так и по предъявляемым к ней требованиям. Обеспечение только одной прочности гильзы, несмотря на всю важность этого требования, недостаточно для длительной и надёжной работы двигателя. Сохранение правильной формы гильзы, обеспечение износостойкости её рабочей поверхности, а также кавитационно-коррозионной стойкости охлаждаемой поверхности при надёжном уплотнении газового стыка и полости охлаждения являются

определяющими условиями надёжной эксплуатации двигателя в пределах заданного ресурса.

Существенное влияние на долговечность и надёжность двигателей внутреннего сгорания, их предельно допустимую форсировку и экономические показатели оказывает монтажная, то есть образовавшаяся после сборки двигателя макрогеометрия основных несущих деталей. Это, в первую очередь, детали цилиндропоршневой группы, и в том числе гильза цилиндра.

У гильз цилиндров толщина стенок намного меньше, чем размеры диаметра и длины, поэтому в первом приближении гильзу цилиндров можно считать «тонкостенной оболочкой». В верхней части гильзы имеется упорный буртик, нижней плоскостью которого гильза садится на соответствующий упорный торец в блоке цилиндров. Центрирование гильзы осуществляется при помощи двух поясов, – верхнего и нижнего, размещённых на её наружной поверхности. Все эти сопряжения с другими деталями приводят к изменению первоначальной геометрии гильзы цилиндров уже после сборки. Полученная деформация усугубляется воздействием высоких температурных перепадов во время работы двигателя.

Основными факторами, влияющими на геометрию гильзы, считаются следующие дефекты: неровности и перекосы в области седла буртика в блоке цилиндров и на опорной поверхности бурта газового стыка гильзы [1; 2]. Так как опорная поверхность буртика гильзы и газового стыка имеют смещения относительно оси гильзы, то при неравномерном нагружении появляется изгибающий момент, что приводит к изменению геометрии гильзы. В рамках этой работы проводилось исследование характера изменения макрогеометрии гильзы цилиндра с учётом вышеуказанных дефектов моделированием в Siemens NX.

В первом случае нами было принято, что перекосов в области седла нет, и контакт гильзы с блоком происходит равномерно по всей окружности буртика, а нагрузка на опорную поверхность буртика газового стыка приложена на диаметрально противоположных участках (см. рис. 1). Такая схема нагружения может возникнуть при наличии неровности на буртике газового стыка гильзы, или опорной поверхности головки блока цилиндров или же при неравномерной затяжке болтов головки цилиндров. Величина нагружения была принята в 10 кН.

Результаты расчёта показали, что при таком нагружении происходит овализация гильзы, причём степень овализации увеличивается в сторону нижней части гильзы.

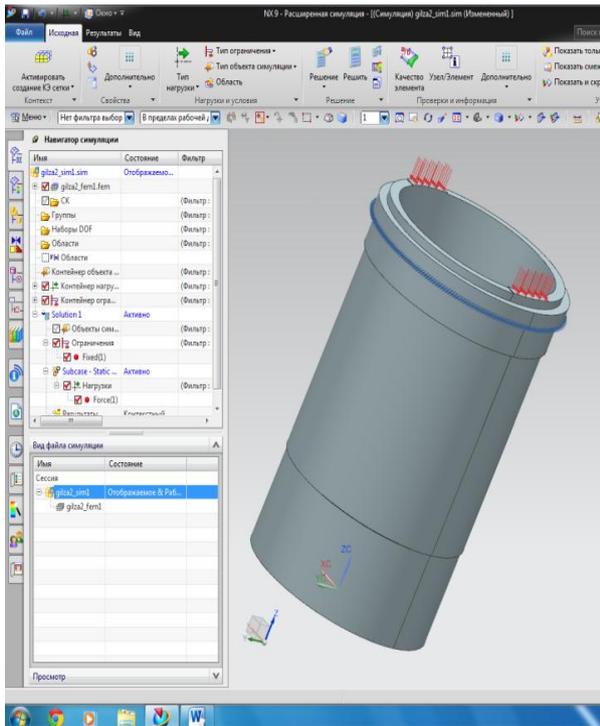


Рис. 1. Первая схема нагружения гильзы

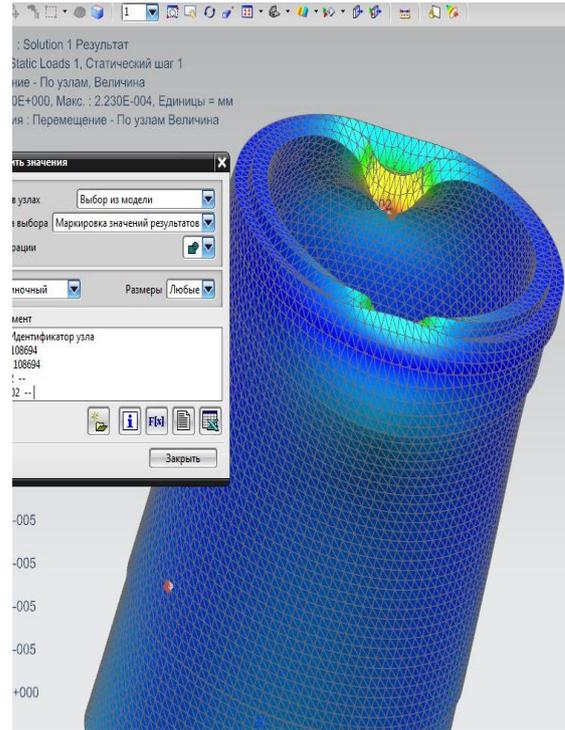


Рис. 2. Результаты расчёта у газового стыка

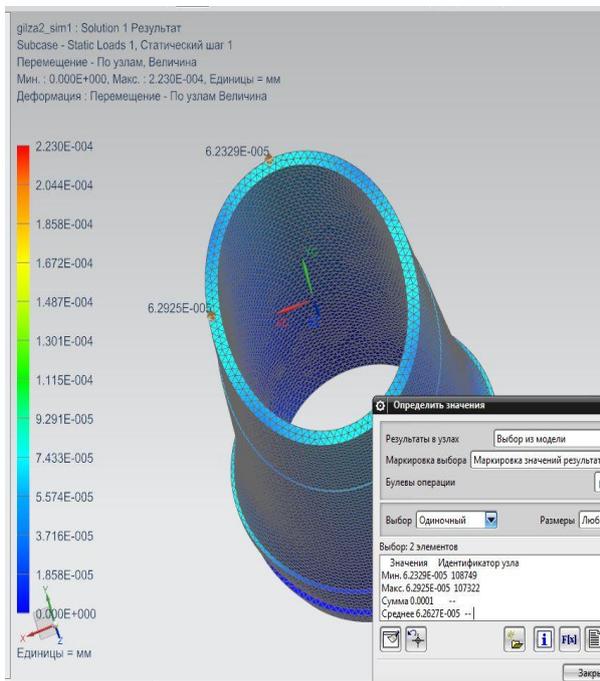


Рис. 3. Результаты расчёта для нижнего торца гильзы

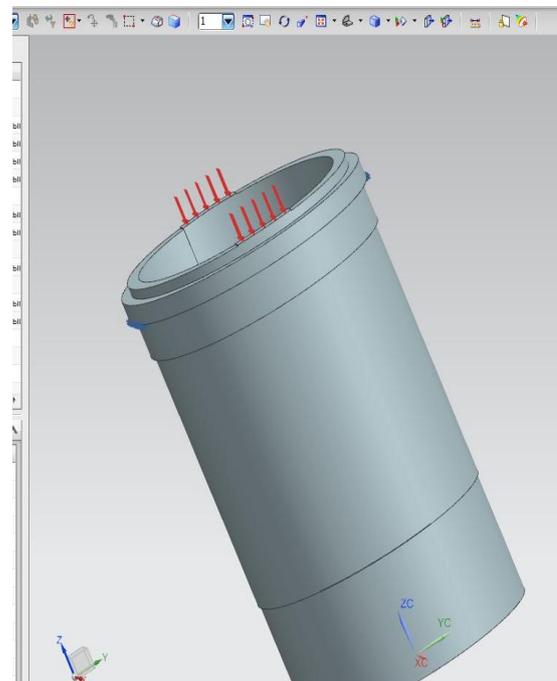


Рис. 4. Вторая схема нагружения гильзы

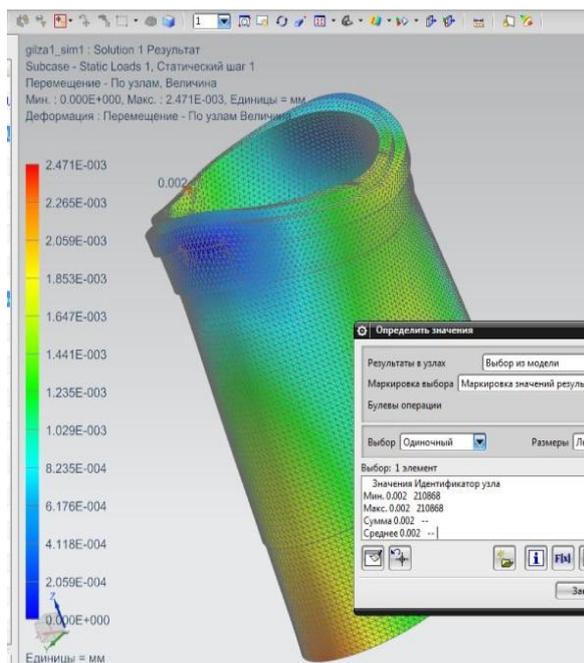


Рис. 5. Результаты расчёта у газового стыка при второй схеме нагружения

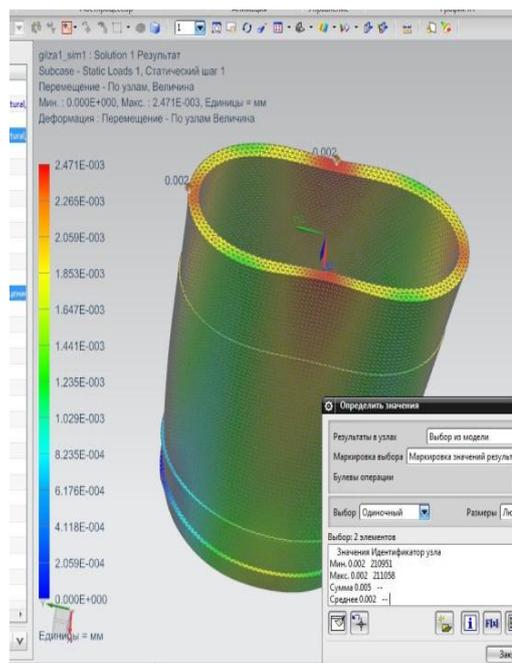


Рис. 6. Результаты расчёта для нижнего торца гильзы при второй схеме нагружения

На рис. 2 показан результат расчёта в области газового стыка. Максимальное перемещение элемента у газового стыка составляет $2,23 \cdot 10^{-4}$ мм. На нижнем торце гильзы (рис. 3) перемещение составляет $6,23 \cdot 10^{-5}$ мм.

При второй схеме нагружения рассмотрен случай наличия неровностей как на буртике газового стыка, так и на опорной поверхности блока, при этом их расположение выбрано во взаимноперпендикулярных плоскостях. При той же величине нагружения в 10 кН величина перемещения элементов гильзы как в области газового стыка, так и в нижней части гильзы составляет 0,002 мм.

Таким образом, наличие различных дефектов при изготовлении деталей может оказать существенное влияние на изменение геометрии гильзы цилиндров после сборки двигателя.

Гильзы форсированных дизелей характеризуются высокой тепловой и механической напряжённостью. Поэтому образовавшаяся после сборки двигателя монтажная макрогеометрия основных несущих деталей должна быть учтена в процессе проектирования, так как она в дальнейшем может оказать существенное влияние на долговечность двигателей внутреннего сгорания.

Литература

1. Костюков А.Ю. Восстановление гильз цилиндров дизельных двигателей сельскохозяйственной техники термопластическим деформированием в матрице: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Специальность 05.20.03. – Москва, 2006.
2. Кулаков А.Т. Повышение надёжности автотракторных дизелей путем совершенствования процессов смазки, очистки и технологии ремонта основных элементов: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Специальность 05.20.03. – Саратов, 2007.

Барыкин А.Ю.,

канд. техн. наук, доцент

Оценка влияния конструктивных особенностей подвижного состава на эффективность междугородных грузовых перевозок

В современных условиях эксплуатации автомобильного транспорта достаточно востребованными являются перевозки грузов на большие расстояния (более 500-1000 км), причём движение осуществляется преимущественно по магистральным дорогам, имеющим хорошее состояние дорожного покрытия. При выборе рационального варианта движения необходимо учитывать следующие важные факторы: расчётное время доставки груза, определяемое дальностью перевозки и реализуемой технической скоростью автомобиля на маршруте; долю пробега автомобиля по дорогам с переходным и низшим типами покрытия (IV-V технические категории), заметными перепадами высот (магистрально-холмистые, горно-холмистые, горные); возможность повышения коэффициента использования пробега на выбранном маршруте за счёт перевозки попутных грузов на обратном пути.

Рассмотрим один из важнейших оценочных показателей эффективности использования подвижного состава – техническую скорость. Среднюю скорость движения автомобиля принято считать обобщенным показателем тягово-динамических свойств в определённых условиях движения, то есть на заданном маршруте или ездовом цикле. В научных работах применяют следующие понятия (и соответствующие определения) средней скорости – это средняя скорость циклического

движения, эксплуатационная скорость и техническая скорость [1, с. 60].

При этом техническую скорость, используемую в расчётах перевозочных процессов, корректируют относительно средней скорости циклического движения путём изменения времени непрерывного движения на величину времени ситуационных остановок. Поэтому при расчёте технической скорости можно вначале определить значение средней скорости циклического движения для заданного маршрута, а затем произвести соответствующее корректирование по времени для известных задержек в пути.

Важной задачей является правильная оценка технической скорости для выбираемого маршрута. Точный расчёт в большинстве случаев может быть затруднён в силу необходимости учёта целого ряда переменных факторов, поэтому в научной и учебной литературе приводятся рекомендации по выбору приближенного среднего значения технической скорости с учётом определяющих признаков условий эксплуатации.

Ещё в 60-х гг. XX в. предлагалось определять среднюю скорость движения (согласно данным испытаний в различных условиях эксплуатации) для легковых автомобилей на дорогах с асфальто-бетонным покрытием в удовлетворительном состоянии как 0,6...0,7 от максимальной, причём меньшие значения соответствовали максимальной скорости не менее 120 км/ч, бóльшие – максимальной скорости менее 120 км/ч; для грузовых автомобилей рекомендовалось фиксированное значение 50 км/ч, для автобусов 50...75 км/ч, где меньшие значения соответствовали эксплуатации городских автобусов в пригородах, а бóльшие – эксплуатации междугородных автобусов на маршрутах [2, с. 160].

Позднее, в конце 80-х гг., в [1, с. 61] было предложено применять зависимость средней скорости от максимальной скорости автомобиля (автопоезда), умножаемой на эмпирический коэффициент, соответствующий заданным условиям эксплуатации. Так, для условий движения магистральных автопоездов в пересечённой (холмистой) местности в [1, с. 61] рекомендовались значения коэффициента в диапазоне 0,645...0,76. Аналогичные рекомендации содержались и в работах других авторов.

По данным, приводимым в [3, с. 31], удельная мощность наиболее популярных европейских моделей автопоездов за 30 лет (с 1966 по 1996 гг.) возросла с 5,53 до 10,6 л.с./т, а средняя скорость движения по маршруту увеличилась с 49,4 км/ч до 71,6 км/ч. Данные, приводимые в работе Д.Х. Валеева и В.С. Карабцева [5, с. 41, 47], подтверждают указанные тенденции. В настоящее время магистральные тягачи

оснащаются двигателями с высокой эффективной мощностью и крутящим моментом, что обеспечивает им высокие тягово-скоростные свойства в составе автопоезда. Например, в [3, с. 29] отмечено, что «560-сильный автопоезд даже на подъёмах 3–4% в состоянии поддерживать скорость в 70–80 км/ч и не сильно задерживать транспортные потоки».

Отечественные грузовые автомобили также способны развивать высокую среднетехническую скорость. По данным, приводимым в [5, с. 46...47], автомобиль КАМАЗ-5460 в составе автопоезда развивает среднетехническую скорость на различных маршрутах европейской части России от 57...58 км/ч до 63...70 км/ч, более новая модель КАМАЗ-5480 быстроходнее в среднем на 3...4 км/ч. Иностранные седельные тягачи в составе автопоездов имеют среднетехническую скорость 61...64 км/ч на российских дорогах и более 75 км/ч на европейских.

При этом расчётные нормы технической скорости, приводимые, в частности, в учебной литературе [4, с. 16], предполагают принятие следующих значений технической скорости при проведении технико-экономических расчётов: для междугородных дорог с асфальто-бетонным покрытием – 49 км/час (первая группа дорог); щебёнчатым и булыжным покрытием – 37 км/час (вторая группа дорог), грунтовых – 28 км/ч (третья группа дорог). Из вышеизложенного очевидно, что данные нормативы остались на уровне 60-х гг. XX в. и должны уточняться с учётом свойств автомобиля и условий движения.

Необходимость такого уточнения вызвана заметным по сравнению с расчётными нормами увеличением реальных скоростей движения в современных условиях, показанным выше. В большинстве случаев необходимо также учитывать влияние степени пересечённости продольного профиля дороги.

Однако использование прежних рекомендаций на основе эмпирической зависимости среднетехнической скорости от максимальной не всегда приводит к правильному результату. Очевидно, что автомобиль с большей максимальной скоростью будет иметь и бóльшую среднетехническую (по сравнению с аналогичным, относительно тихоходным автомобилем) в силу большего запаса мощности в диапазоне скоростного режима на магистральной дороге, и, как следствие, высокой приёмистости, что позволяет чаще и быстрее совершать обгоны, удерживать высокую скорость на затяжных подъёмах. Точные данные можно получить с помощью графиков мощностного баланса автомобиля, что не всегда удобно.

Более рационально использовать зависимость среднетехнической скорости от удельной мощности автопоезда, то есть от отношения эффективной мощности двигателя к полной массе. Например, в [3, с. 28] указано, что «от удельной мощности автопоезда зависит его средняя скорость движения и расход топлива на маршруте, а также частота переключения передач». Однако показатель удельной мощности двигателя не отражает влияния условий дорожных сопротивлений. Кроме того, при определении запаса мощности обычно используют значение эффективной мощности, развиваемой в стендовых условиях при получении внешней скоростной характеристики, что приводит к погрешности расчёта.

Предлагается определять эффективное значение средней технической скорости в зависимости от удельного запаса тяговой мощности, или отношения разности тяговой мощности автомобиля (автопоезда) и мощности сил сопротивления дороги и воздуха, к его полной массе. К силам сопротивления дороги в данном случае относятся силы сопротивления качению и подъёму. Таким образом, названная разность мощностей соответствует мощности, которая может быть потрачена на ускоренное движение автомобиля (автопоезда) в заданных дорожных условиях.

Необходимо также принимать во внимание конструктивные особенности ходовой части автомобиля, так как выбор подвески с металлическими или пневматическими упругими элементами оказывает заметное влияние на среднетехническую скорость при движении по разбитым участкам дорог. Пневматическая подвеска позволяет поддерживать достаточно высокую среднетехническую скорость даже на плохих дорогах, что может иметь и обратный эффект – сокращение срока службы ходовой части из-за повышенных динамических нагрузок. Таким образом может быть уточнена и среднетехническая скорость для второй и третьей группы дорог.

При этом необходимо иметь в виду, что расчёт затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт, проводимый по известной методике с помощью коэффициента, учитывающего категорию условий эксплуатации [4, с. 11...12], является приближенным и не принимает во внимание влияние динамических нагрузок, сопротивления дороги и других факторов на возможный выход из строя отдельных узлов и систем автомобиля вследствие поломки или износа деталей. В данном случае необходим избирательный подход к вопросу оценки эксплуатационных затрат междугородных грузовых перевозок, принимающий во внимание результаты эксплуатационных испытаний автомобилей и автопоездов,

предложенный автором в работе [6, с. 295].

Таким образом, по результатам проведённого исследования можно сделать следующие выводы:

1. Существующие методы оценки и нормативы определения средней технической скорости автомобилей не соответствуют современному состоянию дорожно-транспортного комплекса, особенно при движении по магистральным дорогам, и требуют уточнения.

2. Предварительная оценка средней технической скорости грузовых автомобилей и автопоездов может быть произведена на основании данных эксплуатационных пробегов в зависимости от удельного запаса тяговой мощности.

Литература

1. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

2. Основы прочности и долговечности автомобиля / Б.В. Гольд, Е.П. Оболенский [и др.]; под ред. Б.В. Гольда. – М.: Машиностроение, 1967. – 212 с.

3. Мир грузовиков: иллюстрированный каталог. Вып. 3. – М.: За рулём, 1997.

4. Садриев Д.С. Экономика отрасли: учеб. пособие по курсовой работе для студентов специальности "Организация перевозок и управление на транспорте (автомобильный транспорт)". – Наб. Челны: КамПИ: Изд-во КамПИ, 2005. – 124 с.

5. Улучшение потребительских свойств магистральных тягачей КАМАЗ / Д.Х. Валеев, В.С. Карабцев // КАМАЗ. – 2006. – С. 40-47. – №3.

6. Барыкин А.Ю. Оценка эффективности магистральных грузовых перевозок с учётом характеристик системы «автомобиль – груз – дорога – среда» / «Автомобиль и техносфера» (ICATS'2011): материалы VI междунар. науч.-практ. конф. – Казань: Мир без границ, 2011. – С. 294-295.

Современные системы проектирования автомобилей

В процессе проектирования автомобильной техники все чаще применяются системы виртуального моделирования. К использованию этих систем подталкивает жесткая конкуренция по срокам проектирования. Также без систем трехмерного моделирования невозможно представить современное высокоточное производство автомобилей, позволяющее добиться высокого качества исполнения.

Эти системы по целевому назначению разделяются на средства автоматизированного проектирования (CAD), средства автоматизации инженерных расчётов (CAE), средства технологической подготовки производства изделий (CAM), средства автоматизации планирования технологических процессов, применяемые на стыке систем CAD и CAM (CAPP). CAD-системы используются для создания трехмерных моделей проектируемых изделий. Также при помощи этих инструментов создаются чертежи деталей для производства. CAE-системы применяются параллельно с процессом создания трехмерных моделей. В процессе расчетов применяются программные оболочки, позволяющие производить инженерные расчёты на прочность и долговечность [1].

На сегодняшний день все большее распространение получают программные продукты, рассчитанные на создание в их среде виртуального автомобиля с целью расчета конечных потребительских свойств автомобиля в целом. Среди крупных продуктов можно выделить системы Applus IDIADA (Испания), LMS AmeSim (Франция), MVC и другие. Все эти системы рассчитаны на поэтапное создание внутри них виртуального автомобиля со всеми системами и узлами. Но существуют коренные отличия между системами. Если рассматривать систему MVC, то она позволяет производить расчеты, направленные на тягово-динамические и топливно-экономические характеристики [2].

Другие системы позволяют проводить более углубленные расчеты процессов, происходящих внутри автомобиля (расчет потока воздуха в кабине, потока воздуха через радиатор, расчет упругих характеристик подвески, определение характеристик управляемости автомобиля на этапе проектирования).

Системы с таким инструментарием позволяют уменьшить время определения необходимых параметров узлов и агрегатов для достижения

наиболее оптимальных конечных характеристик продукта. Как следствие, это дает ощутимое уменьшение времени проектирования, что позволяет снизить финансовые затраты предприятия.

Существующие программные продукты позволяют проводить виртуальные дорожные испытания как автомобиля в целом, так и имитировать стендовые испытания его узлов и агрегатов. Согласно исследованиям фирм-разработчиков, при достаточном уровне проработки виртуальной модели значения результатов после виртуальных испытаний и реальных дорожных испытаний разнятся не более чем на 5-10 %. Вследствие этого можно с уверенностью сказать о том, что использование данных расчетов позволит отказаться от некоторых реальных дорожных испытаний. Нельзя сказать, что от них можно отказаться полностью. Проверку потребительских характеристик на опытных образцах техники необходимо проводить в любом случае, так как существуют требования по сертификации, и вновь спроектированный автомобиль должен пройти процесс одобрения типа транспортного средства. Автомобили, спроектированные на базе существующих моделей, сразу можно испытывать на виртуальных системах, зная, что значения результатов мало отличаются от полученных на реальных дорожных испытаниях.

Если рассматривать процесс проектирования нового изделия в рамках производства грузового автотранспорта, то создание новой модели автомобиля проходит в 4 этапа:

1. Разработка эскизного проекта, определение ключевых потребительских характеристик конечного изделия, утверждение конечной модели, создание конструкторско-технологической документации и изготовление опытного образца (на современных предприятиях на разработку нового продукта отводится в среднем 4 месяца).

2. Параллельно с первым этапом проводятся комплексные расчеты как отдельных сборочных единиц, так изделия в целом. Проводятся прочностные расчёты конструктивных элементов, несущих конструкций и элементов, отвечающих за пассивную безопасность. При помощи программных оболочек и систем моделируются различные системы автомобиля (двигатель, система охлаждения, системы выпуска и нейтрализации газов, подвеска автомобиля, рама и другие узлы и агрегаты).

3. Изготовление опытного образца.

4. Проводятся испытания. Уточняются потребительские характеристики автомобиля, которые были заложены на первом этапе.

Процесс испытания сам по себе очень длителен и требует больших финансовых и временных затрат.

Современные технологии моделирования параметров на этапе создания облика и модели новой продукции позволяют резко сократить время проектирования, что приносит ощутимый экономический эффект. К тому же использование виртуальных испытаний позволит сэкономить на реальных испытаниях, так как стоимость испытаний может быть в три, пять и более раз больше, чем стоимость создания конструкторской документации.

Литература

1. Оптимизация параметров автомобиля на этапе разработки / Р.Р. Басыров, Х.А. Фасхиев // Автомобиль и техносфера: тезисы докладов I междунар. конф. – Казань: КГТУ, 2001. – С. 148-156.

2. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.

Габсалихова Л.М.,
канд. техн. наук,
Мухаметдинов Э.М.,
канд. техн. наук, доцент

Перспективы развития рынка гибридных грузовых автомобилей в России

Транспорт традиционно является стратегическим приоритетом геополитического, социального и экономического развития государств, представляя собой важнейшую составную часть производственной и социальной инфраструктуры. Устойчивое и эффективное функционирование транспортной системы является необходимым условием успешного развития экономики, обеспечения национальной безопасности и повышения уровня жизни населения.

Использование различных видов транспорта приводит к неблагоприятному воздействию на окружающую среду, оно увеличивает количество мирового потребления электроэнергии и выбросы углекислого газа в атмосферу на 20-25% ежегодно [1].

В Женеве был представлен доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата, озаглавленный «Изменение климата 2014 год: последствия, адаптация и уязвимость». В нем говорится, что вероятность того, что последствия глобального потепления климата «могут быть чрезвычайно серьезными, всепроникающими и необратимыми», становится все более реальной. Генеральный секретарь ООН Пан Ги Мун приветствовал новый доклад и напомнил, что для сокращения угроз, связанных с изменением климата, необходимо значительно сократить уровни эмиссий парниковых газов, разработать разумные стратегии и планы действий по повышению готовности к стихийным бедствиям и снизить уязвимость к природным катастрофам [2].

В качестве пилотных городов для реализации проекта «Сокращение выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта в городах России», реализуемого при участии министерств транспорта Российской Федерации и Республики Татарстан, представительства ООН в Российской Федерации и правительства Калининградской области, были выбраны города Казань и Калининград. В качестве главных результатов проекта заявлена подготовка на федеральном и региональном уровнях нормативно-правовой базы в поддержку развития низкоуглеродных транспортных средств, автомобилей гибридного типа, заряжаемых от бытовой электросети, и электромобилей. Полученные в ходе реализации демонстрационных проектов в г. Казани и г. Калининграде результаты должны быть применимы для тиражирования как передовая практика для других городов страны.

В России на сегодняшний день отсутствует рынок грузовых автомобилей с гибридным приводом, в то время как рынок легковых гибридов начинает набирать популярность. Малая популярность гибридных грузовых автомобилей в России объясняется высокой рыночной стоимостью по сравнению с дизельными аналогами, дороговизной и сложностями при эксплуатации.

Стремясь свести воздействие гибридных автомобилей на окружающую среду к минимуму, необходимо применять программу анализа и оценки экологического воздействия на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла изделия. Это позволит учитывать все потребляемые ресурсы и воздействия на окружающую среду на всех этапах от конструирования и производства и до эксплуатации и утилизации. Программа должна предусматривать количественную оценку данных, а также оценку влияния различных факторов на окружающую среду на всех этапах. Это позволит выявить достигнутые экологические

преимущества и выделить проблемы, которые необходимо решать для достижения устойчивого развития транспортной системы [3].

В большинстве случаев гибриды внедряются искусственно по политическим соображениям или с привлечением государственных субсидий или налоговых льгот, поскольку гибриды пока не популярны в грузовом сегменте. Чтобы гибридные силовые установки проникли на рынок коммерческих автомобилей, они должны стать в 2-3 раза дешевле, эффективнее, легче по массе. Долговечность основных агрегатов также должна быть увеличена хотя бы вдвое. Если стоимость топлива при этом не будет падать, гибриды найдут своего потребителя [4].

Рассмотрим перспективы развития гибридных автомобилей по семействам (табл.1) и возможных потребителей по отраслям (табл.2).

Таблица 1

Перспективность гибридных автомобилей по семействам

Семейство	Перспективность	Конкуренты
Магистральные	Магистральный автопоезд пока что не может достичь экономии топлива, сопоставимой с показателями развозного автомобиля, так как большую часть времени дальнобойщики проводят на длинных перегонах, где им постоянно необходима максимальная мощность основного силового агрегата, где не так много участков «разгон-торможение»	Peterbilt 386 hybrid, Freightliner Cascadia, Mercedes-Benz Axor BlueTec Hybrid
Полноприводные	Основным потребителем и заказчиком таких автомобилей в мире являются военные. В данном направлении больших успехов добились американские ВС. Перспективность российского рынка зависит от заинтересованности Министерства обороны в данных проектах	Oshkosh HEMTT Oshkosh L-ATV БАЗ-М6910Э
Тяжелые транспортные	Тяжелые транспортные с гибридным и электрическим приводом пока не достигли достаточной окупаемости и экономичности. Единственным успешным представителем гибридомобилей в данном классе можно назвать коммунальные грузовики – мусоровозы. Специфика их работы позволяет достигать заметной экономии топлива благодаря комбинированному приводу	Peterbilt Model 320 Hybrid Mercedes-Benz Econic BlueTec Hybrid 2629 NLA Volvo FE Hybrid Renault Premium Distribution Hybrys Tech
Тяжелые(13,16 т)	Аналоги тяжелых грузовых автомобилей с гибридным и электрическим приводом отсутствуют. Гибридным приводом используются лишь карьерные самосвалы класса БЕЛАЗ	-

Семейство	Перспективность	Конкуренты
Легкие транспортные и развозные	Гибридные технологии на грузовых автомобилях впервые начали применяться на легких транспортных и развозных автомобилях. На сегодняшний день, наряду с автобусами, данный сегмент является одним из самых перспективных и быстроразвивающихся. Время грузовых (автономных) электромобилей еще не пришло. Пока масса батарей для электромобилей занимает большую массу, а запас хода небольшой	Гибридные: Kenworth T270 Kenworth T370 Peterbilt Model 335 Mercedes-Benz Atego BlueTec Hybrid DAF LF Hybrid IVECO Eurocargo Hybrid Электрические: Smith Newton Renault Midium PVI и Semat EPower XT320E Mule M100 Mitsubishi Fuso Canter E-CELL

Сторонники гибридных автомобилей убеждены в том, что ухудшающаяся экология, а также нарастающий дефицит углеводородного топлива заставят потребителей покупать всё больше гибридных машин, а автопроизводителей – увеличивать выпуск гибридомобилей.

Таблица 2

Потребители гибридных автомобилей

Семейство	Тип	Коммерческие перевозки	Пищевая промышленность и торговля	Военные	Добывающие отрасли, НГДО	Коммунальное хозяйство	Строительство
Семейство магистральных автомобилей	седельный тягач	+	+				
Семейство полноприводных автомобилей	бортовой			+	+		
	шасси/ спецтехника			+	+		
Тяжелые транспортные автомобили	бортовой		+				
	шасси/ спецтехника		+			+	+
Легкие транспортные и развозные	бортовой	+	+				
	шасси/ спецтехника	+	+			+	

Основным препятствием при выходе на новый рынок является отсутствие сформированного спроса на данную технику в ближайшее время и несоответствие по технико-экономическим показателям основным

конкурентам, поскольку европейские производители уже давно ведут разработки в данном сегменте. Слабые и сильные стороны производителей в сегменте гибридных автомобилей представлены в таблице 3.

Таблица 3

Слабые и сильные стороны производителей в сегменте гибридных автомобилей

Производитель	Сильные стороны	Слабые стороны
КАМАЗ	Клиентская база. Широкая сервисная и дилерская сеть	Отсутствие опыта производства данных автомобилей
Европейские и американские производители	Наличие научной базы и разработок по гибридным автомобилям. Имидж надежных производителей	Отсутствие развитой сервисной сети. Дефицит запасных частей на рынке

Для развития продаж гибридных автомобилей на рынке РФ необходимо стимулирование на законодательном уровне гибридных технологий в сфере грузоперевозок (налоговые льготы); совершенствование производственно-технической базы дилерской сети под обслуживание и ремонт гибридных автомобилей; выработка эффективной политики создания новых продуктов на базе гибридных автомобилей и их продвижения; разработка и реализация индивидуальных комплексных программ сотрудничества с крупными корпоративными клиентами в сфере гибридных автомобилей.

Литература

1. В. Чехута. Коммерческий транспорт гибридного типа – URL: http://www.os1.ru/article/technology/2008_10_A_2009_05_20-15_44_58/ .Дата обращения 20.08.2014.
2. Центр новостей ООН [Электронный ресурс] – URL: <http://www.un.org/russian/news/story.asp?NewsID=21390>. Дата обращения 21.05.2014.
3. Hawkins, T.R. Environmental impacts of hybrid and electric vehicles / T.R. Hawkins, O.M. Gausen ,A.H. Strømman // International Journal of Life Cycle Assessment– 2012 – Volume 17, Issue 8 – pp 997-1014.
4. Е. Барановский. Воздух не испортят – URL: <http://www.rg.ru/2013/03/28/gibrid.html>. Дата обращения 27.06.2014.

*Кулаков А.Т.,
д-р техн. наук,
Гарипов Р.И.*

Разработка методики виброакустической диагностики узла сцепления для бортовой системы диагностирования грузовых автомобилей

Узел сцепления имеет сложную конструкцию, металлоемкие детали и высокую стоимость. В процессе эксплуатации на его элементы накладываются значительные нагрузки, их функционирование проходит в условиях сухого трения и повышенных температур. Ресурс целого ряда деталей и узлов автомобиля зависит от технического состояния сцепления. Таким образом, повышение надежности автомобилей КАМАЗ и другой техники, оснащенной двухдисковым сцеплением, имеет большое значение.

Возникновение и развитие многих неисправностей узла сцепления происходит постепенно, носит скрытый характер, допуская эксплуатацию автомобиля, и часто явно проявляется уже в заключительной стадии перед потерей работоспособности. При этом на целый ряд деталей силового агрегата автомобиля продолжает оказываться скрытое негативное разрушительное воздействие от этих дефектов.

Главным критерием оценки технического состояния сцепления автомобиля в работах большинства исследователей считается износ эксплуатационных поверхностей ведущих и ведомых дисков. Однако основным его дефектом, как по массовости, так и по последствиям влияния на надежность целого ряда деталей силового агрегата, является изнашивание рабочих поверхностей пазов маховика и шипов ведущих дисков. Центрирование выполненных в форме кольца ведущих дисков в маховике, осуществляемое через данные сопряжения, с появлением износов в местах контакта нарушается. Смещение ведущих дисков относительно оси вращения приводит к образованию и непрерывному росту дисбаланса, изменению контактирующих поверхностей и перераспределению нагрузок при работе сцепления. Воздействие на диски значительных центробежных сил, наличие ударных нагрузок при включении на ходу, а также недостаточная износостойкость рабочих поверхностей деталей приводят к увеличению износа трущихся поверхностей, возникновению динамических нагрузок на опоры крепления и другие детали силового агрегата.

Характерные износы контактных поверхностей пазов маховика и шипов нажимного диска представлены на рис. 1.



Рис. 1. Характерные износы пазов маховика и шипов ведущих дисков

Возникает необходимость в разработке и практической реализации эффективного способа оценки фактического состояния сцепления в процессе эксплуатации. Наиболее рациональны в этом отношении методы виброакустической диагностики, где в качестве диагностических признаков используются динамические параметры, являющиеся результатом взаимодействия деталей механизма в процессе его функционирования, распространяющиеся по конструкции механизма в виде колебаний и регистрируемые в виде параметров смещения, скорости, ускорения.

Их эффективность обусловлена быстрой реакцией виброакустического сигнала на изменение технического состояния механизма, возможностью автоматизации процесса получения и обработки данных с помощью современной микропроцессорной техники и организации процедур диагностирования на основе математического аппарата теории распознавания образов.

Результаты исследований, полученные в результате проведенных стендовых испытаний двигателя КАМАЗ-7403 в сборе со сцеплениями с различной степенью износа элементов, дают основания полагать возможность использования показаний вибросигналов, снимаемых с установленных на картере сцепления вибродатчиков, в качестве диагностических параметров при определении технического состояния сцепления. С возрастанием износов рабочих поверхностей шипов ведущих дисков сцепления и пазов маховика двигателя усиливается дисбаланс и передаваемая на картер сцепления вибрация. Величины средних значений виброускорения, при одинаковых режимах работы двигателя со сцеплениями с различной степенью износа элементов, имеют явные отличия. Графики зависимости средних значений виброускорения от

частоты вращения коленчатого вала, определенные по характеристике холостого хода, для двигателя с новым и предельно изношенным сцеплениями, представлены на рис. 2.

В этом случае среднеквадратичное значение амплитуды сигнала виброускорения, на частотах вращения коленчатого вала двигателя свыше 1800 мин^{-1} , может служить параметром диагностирования.

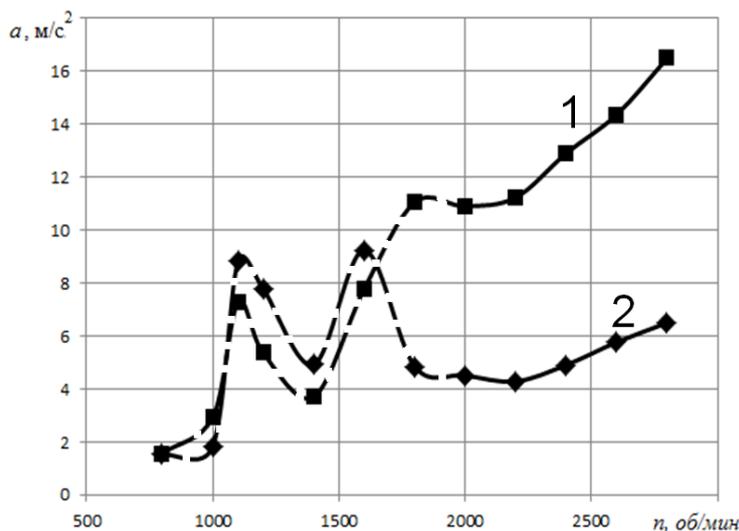


Рис. 2. Графики зависимости среднего значения виброускорения от частоты вращения коленчатого вала двигателя с изношенным (1) и новым (2) сцеплениями

Для получения временных характеристик сигнала проводились замеры продолжительностью от 3 до 5 секунд. На практике, чтобы собрать необходимые данные для диагностирования, необходимо менее одной секунды. Временная характеристика при частоте вращения коленчатого вала 2400 об/мин двигателя с новым сцеплением представлена на рис.3.

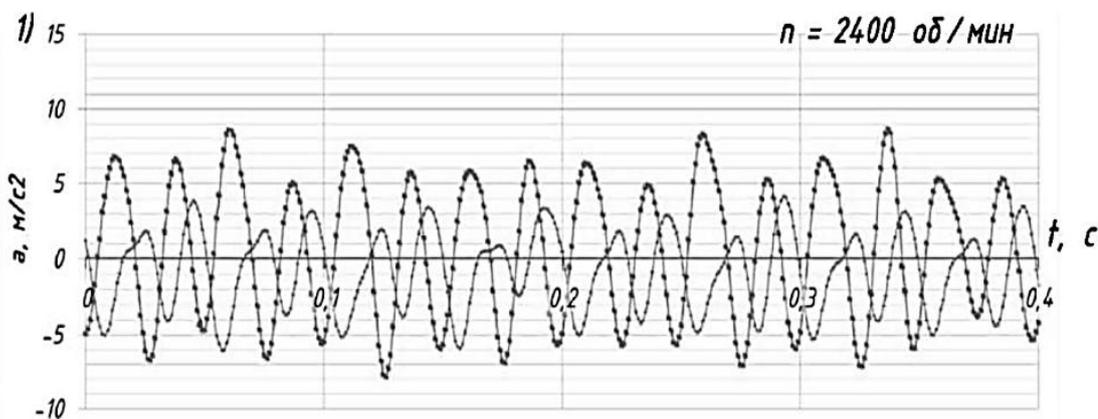


Рис. 3. Временная характеристика при частоте вращения коленчатого вала 2400 об/мин двигателя с новым сцеплением

Диагностирование в стационарных условиях не решает в полной мере проблемы оптимального восстановления работоспособности автомобиля, так как обнаружение развития процессов износа возможно лишь с некоторой заданной вероятностью. Наиболее характерна данная ситуация для автомобилей, работающих в отрыве от баз технического обслуживания и находящихся в личном пользовании. Использование стационарных и переносных диагностических средств связано с операциями подключения, настройки, снятия датчиков и коммутационной арматуры, что приводит к значительным трудозатратам на вспомогательные работы и ограничивает возможность применения частого диагностического контроля.

Указанные недостатки в необходимой мере могут быть устранены введением системы встроенного бортового диагностирования. При этом необходимо обеспечить непрерывный мониторинг состояния сцепления на всем протяжении времени работы автомобиля. Должны соблюдаться требования точности и эффективности диагностирования (оцениваемые по ряду показателей, основными из которых являются: чувствительность, однозначность, стабильность и информативность). Необходимо полностью автоматизировать процесс получения и обработки данных с помощью средств современной микропроцессорной техники и организации процедур диагностирования. Принципиальная схема разрабатываемой системы встроенного бортового диагностирования представлена на рис.4.

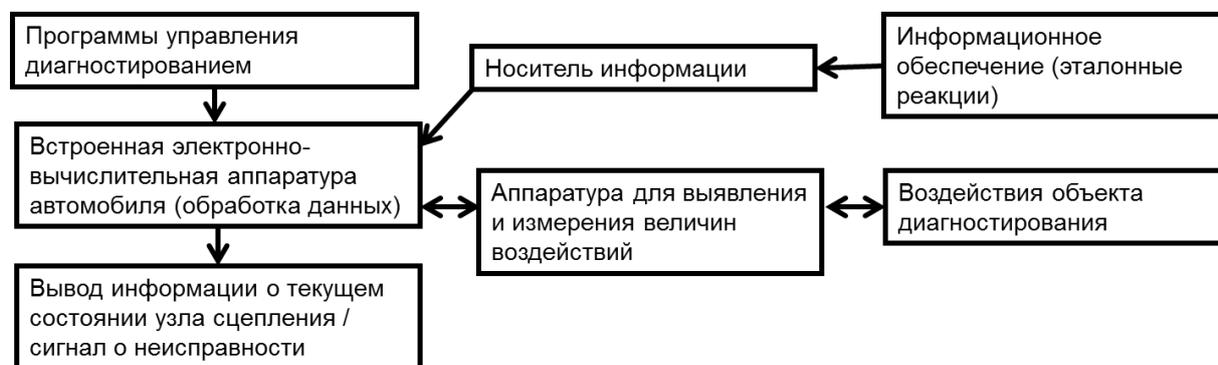


Рис. 4. Схема разрабатываемой системы встроенного бортового диагностирования

Точная оценка технического состояния сцепления поможет избежать преждевременного выхода из строя деталей и узлов как силового агрегата, так и автомобиля в целом, что обуславливает актуальность задачи по разработке и внедрению средств бортового диагностирования. Исследование эксплуатационной надежности сцепления, установление качественных и количественных закономерностей износа его конструктивных элементов в процессе изменения технического состояния узла сцепления является актуальной задачей и требует дальнейшего

изучения.

Литература

1. Восстановление деталей автомобилей КамАЗ / Р.А. Азаматов [и др.]; под ред. В.Г. Дажин. – Набережные Челны: КамАЗ, 1994. – 215 с.
2. Разработка методики виброакустической диагностики узла сцепления силового агрегата грузовых автомобилей для бортовой системы диагностирования агрегатов трансмиссии // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных, (5 – 7 нояб. 2014, Тюмень) / А.Т. Кулаков, Р.И. Гарипов отв. ред. В. И. Бауэр. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – Т.1. – С. 305-312.
3. Барков А. В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации : учеб. пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова. – СПб.: Издательский центр СПбГМТУ, 2004. – 156 с.

Лысанов Д.М.,

канд. техн. наук, доцент

Гареева Г.А.,

канд. пед. наук

Моделирование территориального размещения объектов, осуществляющих сервисную деятельность

Проблема создания, размещения и функционирования производства в местах сосредоточения автомобилей является достаточно сложной, так как при ее решении требуется учитывать множество различных факторов. Однако решение этих вопросов позволит не только сократить капитальные вложения в развитие материальной базы сервисных предприятий, но и снизить себестоимость проведения работ по ТО и ремонту, а также сократить транспортные расходы владельцев автомобилей.

Решение многофакторных задач – достаточно трудоемкий процесс, требующий применения специальных методов, одним из которых является моделирование. Оно представляет собой эффективный метод решения различных задач, который получает все большее распространение на всех уровнях экономического планирования. Под моделированием понимается создание модели реальных хозяйственных ситуаций.

Математические модели связывают между собой важные факторы изучаемого процесса с помощью системы уравнений. Основная задача экономико-математической модели состоит в эмпирическом описании экономического процесса.

В задачах подобного рода затраты, связанные с поиском наилучшего решения при осуществлении эксперимента в реальных условиях, являются неоправданно большими, в то время как применение моделирования позволяет уменьшить затраты. Кроме того, математические модели позволяют достаточно адекватно и быстро оценить уровень и степень влияния различных факторов на развитие системы сервисных предприятий в целом, а также последствия от принимаемых решений.

Исследование явлений или процессов математическими методами состоит из ряда этапов:

- выбор критерия эффективности;
- формулировка всех ограничений, которым должен удовлетворять наилучший план;
- накопление и обработка исходной информации о наличии ресурсов и характеристиках производственных процессов;
- формализация задачи определения рационального плана;
- построение алгоритмов решения задачи;
- вычисление конкретных значений управляющих параметров.

Вопросы прогнозирования спроса населения на услуги автосервиса тесно связаны с разработкой моделей рационального размещения предприятий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей.

При решении задач развития и размещения сервисных предприятий целесообразно руководствоваться следующими основными принципами:

- принцип оптимальности, заключающийся в минимизации издержек, связанных с функционированием сети предприятий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей;
- принцип системности, т. е. решение задач по развитию и размещению не отдельных предприятий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, а их комплексов.

Поскольку на уровень развития предприятий оказывает влияние большое количество факторов, то решение задач размещения новых предприятий по техническому сервису автомобилей необходимо вести с учетом уровня организации существующей сервисной сети.

Несколько взаимодействующих между собой предприятий могут представлять собой комплексные отраслевые узлы, дислоцированные либо

на одной крупной площадке (комплектный вариант размещения), либо на нескольких площадках в разных городах в пределах экономического района (дифференцированный вариант), либо располагаться в одной или нескольких крупных зонах (разбросанный вариант) [1].

Постановка и решение задач рационального размещения производства позволяют найти наилучший вариант, согласно выбранному критерию эффективности, который включает в себя: места размещения, мощности и специализацию предприятий; степень удовлетворения спроса на услуги различных групп клиентов; распределение потребностей отрасли в капитальных вложениях и других видах необходимых ресурсов.

Критерий эффективности плана размещения предприятий должен представлять собой компромисс между максимально возможной прибылью предприятий, затратами времени клиентов на ожидание выполнения работ и стоимостью транспортировки неисправного автомобиля до ближайшего сервисного предприятия. Для наиболее полного удовлетворения потребностей в услугах по ТО и ремонту автомобилей необходимо определить количество сервисных предприятий, их географическое расположение и производственные мощности по выполнению технических воздействий [2].

Пусть имеется некоторый регион, в котором можно выделить районы дислокации автомобилей, а также возможные места, где имеются или могут быть построены автотранспортные или сервисные предприятия. На любое предприятие из любого района дислокации может поступить на обслуживание или ремонт автомобиль.

Введем следующие обозначения:

n – число пунктов сосредоточения автомобилей ($i = 1..n$);

m – число возможных мест размещения предприятий, оказывающих сервисные услуги владельцам автомобилей ($j = 1..m$);

X_{ij} – количество заявок, поступивших из i -го пункта на j -е предприятие для выполнения необходимых технических воздействий;

Y_j – мощность j -го предприятия по ТО и ремонту автомобилей;

A_i – потребность в технических воздействиях для автомобилей из i -го пункта сосредоточения;

$W_{\min j}$ – минимально допустимая мощность j -го предприятия;

$W_{\max j}$ – максимально допустимая мощность j -го предприятия;

C_{ij} – транспортные расходы, связанные с доставкой одного автомобиля из i -го пункта на j -е предприятие для проведения работ, руб.;

Требуется организовать работу сервисной сети таким образом, чтобы наиболее полно удовлетворить спрос на услуги в рассматриваемом регионе

и обеспечить минимальное значение расходов на транспортировку автомобилей к местам проведения работ. С учетом введенных обозначений математическая модель задачи размещения сервисных предприятий имеет вид:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min .$$

Дополнительные ограничения модели:

1. Спрос каждого клиента из i -го района дислокации автомобилей на технические воздействия должен удовлетворяться полностью:

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = A_i, \quad i = \overline{1..n} .$$

2. Мощность каждого j -го предприятия должна соответствовать количеству заявок на проведение работ, поступающих от всех клиентов:

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = Y_j, \quad j = \overline{1..m} .$$

3. Мощность каждого j -го предприятия, оказывающего услуги по ТО и ремонту, ограничена минимально и максимально возможными значениями:

$$W_{\min j} \leq Y_j \leq W_{\max j}, \quad j = \overline{1..m} .$$

4. Переменные модели не могут быть отрицательными:

$$X_{ij} > 0, Y_j > 0, \quad i = \overline{1..n}, j = \overline{1..m} .$$

В результате проведения расчетов согласно приведенной модели получим матрицу распределения заявок на проведение работ между имеющимися сервисными предприятиями, а также используемые для этого производственные мощности.

Рассмотренную математическую модель можно принять в качестве базовой при сравнении с другими моделями, учитывающими различные комбинации влияющих факторов.

Пусть требуется определить рациональный план размещения существующих сервисных предприятий с учетом затрат на организацию эффективного производства и проведение необходимых видов работ. Исходной информацией для этого варианта исследований являются сведения о потребностях в технических воздействиях клиентов и конкретном виде функций затрат на развитие и функционирование производства.

Для проведения дальнейшего анализа необходимо учитывать все возможные места расположения сервисных предприятий на территории региона. Для каждого из них задаются варианты развития в виде ряда

мощностей, представляющих собой фиксированные количества технических воздействий каждого вида. По известным пунктам сосредоточения автомобилей и намеченным пунктам размещения предприятий определяются транспортные расходы – матрица C_{ij} . Затем накладываются ограничения по мощности каждого предприятия для любого вида технических воздействий – величины W_{\min_j} и W_{\max_j} . При выборе численных значений величин мощностей руководствуются соображениями предельно возможного развития предприятий (размером территории, наличием рабочих, технологического оборудования).

Требуется определить такой вариант использования имеющихся мощностей сервисных предприятий, чтобы полностью удовлетворить потребности владельцев автомобилей в осуществлении всех видов технических воздействий, а сумма транспортных расходов, затрат на реконструкцию и перевооружение производства, затрат на проведение необходимых видов работ была бы минимальной. Целевая функция описанной задачи может быть представлена в виде следующей функции:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} + \sum_{j=1}^m F_{\text{ПТБ}}(Y_j) + \sum_{j=1}^m F_a(Y_j) \rightarrow \min ,$$

где $F_{\text{ПТБ}}(Y_j)$ – функция затрат на реконструкцию зданий и техническое перевооружение в зависимости от мощности предприятия;

$F_a(Y_j)$ – функция затрат на проведение технических воздействий по сервису автомобилей в зависимости от мощности предприятия.

После проведения расчетов получим матрицу территориального распределения спроса автовладельцев на услуги между существующими в рассматриваемом регионе сервисными предприятиями.

Третий вариант модели определения рационального варианта размещения существующих предприятий, помимо рассмотренных факторов, учитывает затраты владельцев автомобилей на выполнение технических воздействий и возможную величину потерянной прибыли, связанную с простоем автомобиля при выполнении необходимых работ. Исходной информацией для этого направления исследований, как и в предыдущих случаях, являются сведения о потребностях клиентов в технических воздействиях, функции производственных затрат, транспортные расходы на доставку автомобилей и предельные мощности каждого предприятия.

Известно также, что на каждое из m возможных мест размещения предприятий могут поступить автомобили из n районов дислокации для проведения ТО и ремонта. Требуется определить такой вариант

размещения и специализации действующих предприятий, чтобы полностью удовлетворить потребности владельцев автомобилей в осуществлении всех видов технических воздействий, а сумма затрат на реконструкцию и перевооружение производства, сумма затрат на проведение работ, сумма транспортных расходов и сумма потерь времени владельцев автомобилей на ожидание и выполнение работ в денежном выражении была бы минимальной.

Таким образом, необходимо минимизировать следующую функцию:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} + \sum_{j=1}^m F_{\text{ПТБ}}(Y_j) + \sum_{j=1}^m F_a(Y_j) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m T_i C w_j X_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{T_i}{P_j} C_a X_{ij},$$

где T_i – средняя трудоемкость выполнения работ по одному автомобилю из i -го пункта дислокации;

$C w_j$ – средняя стоимость 1 чел*ч работ на j -м предприятии;

P_j – число производственных рабочих, одновременно работающих на одном посту;

C_a – стоимость 1 ч транспортной работы автомобиля.

После выполнения расчетов получим третий вариант матрицы территориального распределения спроса на услуги по техническому сервису между имеющимися в регионе предприятиями и значения используемых для этого производственных мощностей.

Предложенная модель задачи представляет собой наиболее общую экономико-математическую модель размещения и развития сети сервисных предприятий.

Литература

1. Лагуткин В. М. Производственные объединения, проблемы и перспективы. – М.: Мысль, 1971. – 315 с.
2. Оптимизация размещения предприятий технического обслуживания и ремонта подвижного состава / В. И. Ляско, Б. Д. Прудовский – М.: Транспорт, 1977. – 198 с.

Макарова И.В.,
д-р техн. наук, профессор,
Беляев Э.И.,
канд. техн. наук

Разработка системы поддержки принятия решений в области управления дилерско-сервисной сетью автомобилестроительного предприятия

Главной причиной простоев автомобильной техники на постах в ожидании обслуживания является отсутствие необходимых запасных частей. Такая ситуация характерна как для отечественных дилерско-сервисных центров (ДСЦ), так и для ДСЦ, расположенных за рубежом, однако для зарубежных ДСЦ проблема осложняется еще рядом внешних факторов, поэтому имеет еще большую актуальность. Для решения указанной проблемы необходимы более точные прогнозы потребности в запасных частях, позволяющие организовать их своевременную поставку.

Одним из путей решения данной задачи может быть создание системы поддержки принятия решений (СППР), в которой реализована возможность анализа надежности различных узлов, агрегатов и систем и планирование поставки запасных частей с учетом видо-возрастной структуры регионального парка автомобильной техники и остаточных ресурсов узлов, агрегатов и систем.

При эксплуатации автомобильной техники нагрузки, действующие на узлы и агрегаты, приводят к изменению (ухудшению) ее технического состояния, вплоть до невозможности эксплуатации. Отказ автомобильной техники возникает в момент времени $T_{отк}$, который с определенной вероятностью можно спрогнозировать.

Как показывает опыт эксплуатации технических изделий, изменение интенсивности отказов $\lambda(t)$ подавляющего большинства объектов описывается U – образной кривой (Рис. 1).

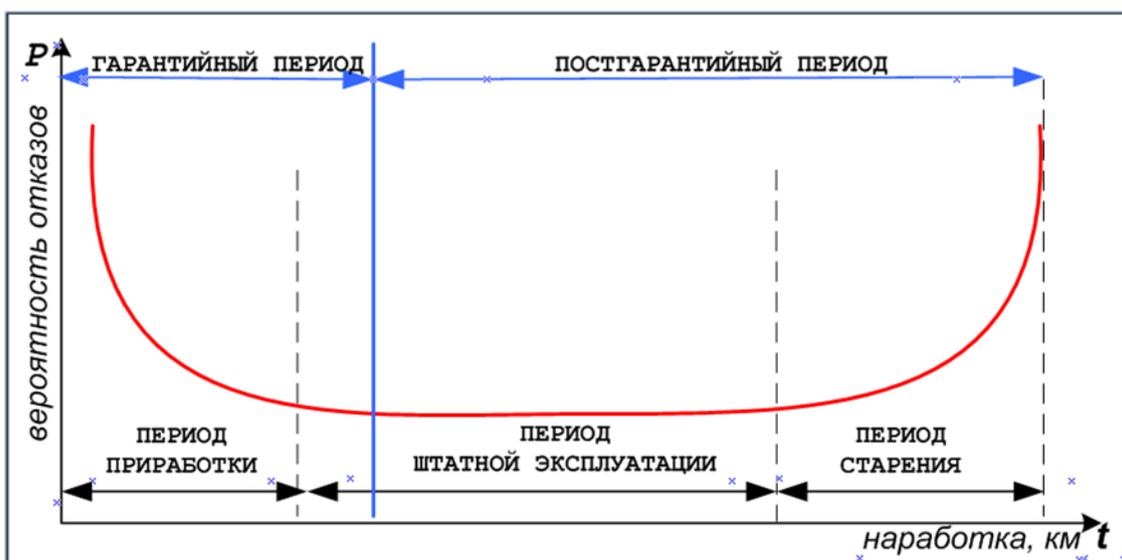


Рис. 1. Изменение интенсивности отказов

Как видно из рисунка 1, интенсивность отказов автомобильной техники разделяется на три эксплуатационных этапа. В период приработки единица техники имеет повышенную интенсивность отказов. Это отказы, связанные с приработкой деталей, обусловленные производственными дефектами. Данный период связан с гарантийным сроком эксплуатации автомобильной техники и деталей. В период нормальной эксплуатации отказы носят случайный характер и появляются внезапно, прежде всего, из-за несоблюдения условий эксплуатации, изменений нагрузки, неблагоприятных внешних факторов и т.п. Третий период характеризуется возрастанием интенсивности отказов, что вызвано старением и другими причинами, связанными с длительной эксплуатацией.

Поскольку характер кривой свидетельствует о наличии трех участков, описывающихся разными зависимостями, то очевидным является различие причин (или сочетания факторов), вызывающих возникновение отказов. Из этого следует, что планирование работы ДСЦ должно выполняться с учетом видо-возрастной структуры парка, а также информации по обращениям в ДСЦ.

Таким образом, задача управления поставками запасных частей в дилерско-сервисной сети (ДСС) заключается в планировании структуры и времени поставок в зависимости от периода эксплуатации, в мониторинге состояния складов, распределении квоты на запасные части между всеми ДСЦ.

Одним их наиболее эффективных методов отражения реальной ситуации, складывающейся в регионе эксплуатации автомобильной

техники, является имитационное моделирование ДСС. Имитационная модель в данном случае является интеллектуальным ядром СППР и используется для составления варианта плана при рассчитанных значениях точек планируемого обращения клиентов и расчета для полученного варианта величины потерь от отсутствия запасных частей или хранения излишков. Объектом моделирования является деятельность центра управления ДСС фирмы-производителя автомобильной техники по управлению поставками запасных частей. Исходными данными для системы управления и оптимизации поставок служат статистические данные об эксплуатационной надежности, о заявках и поставках, хранящиеся в базе данных центра управления ДСС.

Имитационное моделирование процесса распределения потоков запасных частей в ДСС ОАО «КАМАЗ» за рубежом описывается алгоритмом, представленным на рисунке 2. В представленном алгоритме обращения клиентов и планируемый отказ автомобильной техники генерируется на основе статистической информации о надежности автомобильной техники в данном конкретном регионе, а заявки на автомобильную технику генерируются случайным образом. В зависимости от вида сигнала системы вырабатываются следующие варианты решений:

1. Принятие решений об отгрузке запасных частей с гарантийного склада ДСЦ. Данные действия моделируют отгрузку запасных частей в случае возникновения отказа автомобильной техники в гарантийный период по причине дефекта, имеющихся в наличии в региональной ДСС (включает гарантийный и постгарантийный склады ДСЦ или региональный склад), при отгрузке уменьшается запас данной номенклатуры запасных частей на складе.

2. Принятие решений о заказах в производство и отгрузку запасных частей: если на складе отсутствует требуемая позиция или система выдает сигнал о планируемом обращении клиента в период штатной эксплуатации гарантийного периода, а также генерируются заявки на автомобильную технику, то создается заказ на поставку, время прихода поставки задается ожидаемым днем прихода.

3. Поставка от производителя запасных частей. Если в системе есть поставки, у которых назначенный день прихода равен текущему дню, то вычисляется значение количества доставленной партии запасных частей данной номенклатуры с учетом статистической информации о недопоставках. Далее товар поступает на тот или иной склад ДСЦ, при этом изменяются значения параметров запаса склада, на который пришла

поставка, и снимается отметка о наличии заявленных поставок. Заявка в системе уничтожается.

ИМ также осуществляет расчет критерия, включающего, как уже указывалось выше, следующие составляющие:

1. Потери от хранения, которые вычисляются ежедневно, когда период планирования обращений клиентов уже истек, с учетом дневной стоимости хранения складской единицы.

2. Потери от затрат на поставку, которые вычисляются при движении потоков запасных частей от фирмы-производителя до ДСЦ с учетом оплаты таможенных пошлин.

3. Потери от простоя автомобильной техники на постах обслуживания – вычисляются за плановый период для тех обращений, которые не выполнены в срок, т.е. у которых срок выполнения больше заявленного нормативного срока, с учетом затрат на простой постов обслуживания и персонала, а также потери клиентов.

Так как гарантийный комплект запасных частей составляется на период приработки, который составляет практически весь гарантийный период, а также с модели учитывается часть периода штатной эксплуатации, в качестве периода моделирования принимается год. Управляющей информацией для принятия решений о заявках на поставки в ИМ, как и в реальной системе, являются точки планируемых обращений клиента (критические – P_i и предкритические – P_{ti} , где i – номер товара). От выбора данных точек зависят получаемые в результате моделирования составляющие потерь, и соответственно критерий оптимизации планов.

В качестве инструмента для разработки модели был выбран прикладной пакет AnyLogic – российский профессиональный инструмент имитационного моделирования.

Управление поставками запасных частей в сети ФСЦ является многоподходной моделью, объединяющей в себе дискретно-событийную и агентную модели, т.к. состоит из объектов, разных по сути, моделирование которых требует использования разных подходов.

Исполнение компьютерной дискретно-событийной модели предполагает наличие некоторого множества переменных состояния, характеризующих ее в текущий момент модельного времени, а также списка запланированных событий, которые должны произойти в модели в будущем. В том случае, если какое-либо событие произойдет раньше или позже, чем это было запланировано создателем модели, результаты моделирования могут оказаться неверными [1]. Кроме того, как правило, среда моделирования должна обеспечивать такое свойство, как

«повторяемость» результатов моделирования, т.е. результаты «прогонов» одной и той же модели с одинаковыми начальными данными должны совпадать (рис. 2) [2].

Агентная модель реализована с использованием карты состояний (стейтчарта), представленной на рис.3.

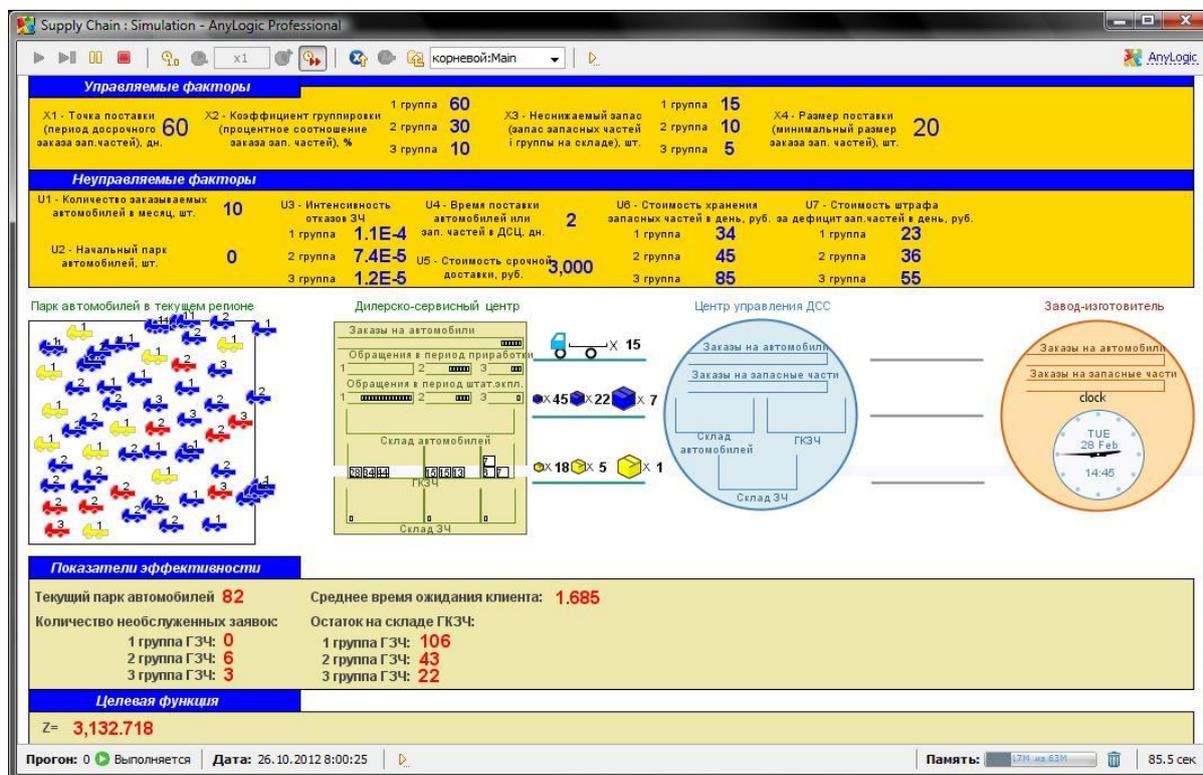


Рис. 2. Вид дискретно-событийной модели

Для передачи модельных потоков из дискретно-событийной модели в агентную модель применяется алгоритм синхронизации. Для каждой конкретной модели это свой алгоритм, который позволяет достичь максимальной эффективности использования параллелизма, то есть от его качества зависит выигрыш, который можно получить в результате синхронизации моделей [3; 4]. Для передачи модельных потоков из дискретно-событийной модели в агентную модель необходимо воспользоваться алгоритмом синхронизации.

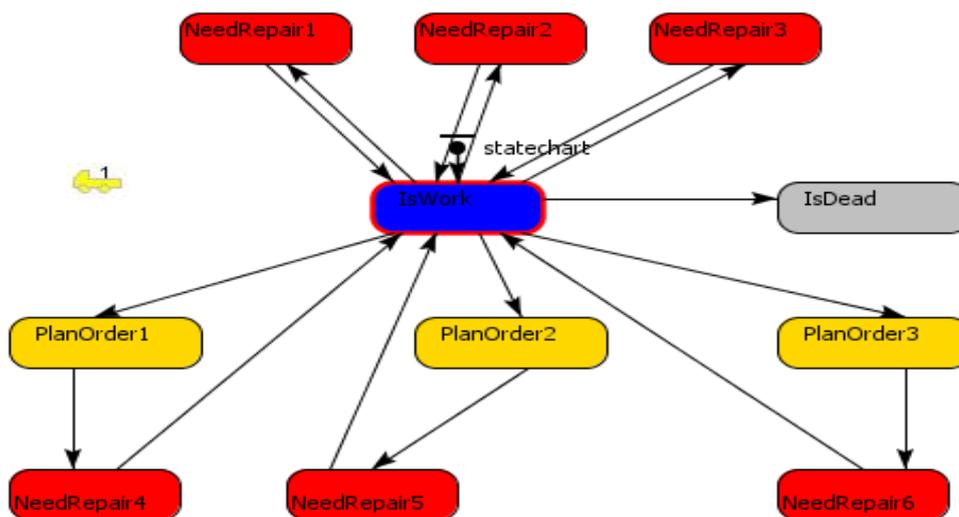


Рис. 3. Карта состояний агентов-автомобилей с учетом экспоненциального закона распределения отказов λ

Заключение

Таким образом, при планировании долгосрочных решений и проведении анализа поставок запасных частей в ДСС фирмы-производителя автомобильной техники неизбежно присутствие различного вида неопределенностей в данных и зависимостях, влияющих на результат анализа. Сложность анализа моделей, в которых присутствует неопределенность, связана с необходимостью выбора определенных альтернатив и расчетом вероятностей результатов и возможных потерь. Для принятия управленческих решений необходимо определить и проанализировать показатели эффективности, что достигается с помощью построенной модели.

Литература

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
2. Борщев А.В. Применение имитационного моделирования в России – состояние на 2007 г. // Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. III всерос. науч.-практ. конф. – СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2007. – С. 11-16.
3. РДО – производственный язык имитационного моделирования сложных дискретных систем: учеб. пособие по курсам “Моделирование

технологических и производственных процессов” / В.В. Емельянов, С.И. Ясиновский. – М.: Изд-во МГТУ, 1995. – 91 с.

4. Толуев Ю.И. Применение имитационного моделирования для исследования логистических процессов // Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. II всерос. науч.-практ. конф. – СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2005. – С. 71-76.

Павленко А.П.,

канд. техн. наук, доцент,

Шамсутдинов И.Р.,

канд. техн. наук, доцент

Механическая аналогия квадратичного сплайна для задания обводов кузова легкового автомобиля

1. Введение. Конкуренция на мировом рынке вынуждает постоянно обновлять внешние формы (обводы) автомобилей. Важнейшим средством интенсификации проектирования обводов является внедрение автоматизированных систем проектирования (САПР) и технологической подготовки производства (АСТПП), включая изготовление технологических поверхностей, оснастки и деталей на оборудовании с числовым программным управлением (ЧПУ). Это позволяет проводить опережающую подготовку производства, но требует математического задания обводов.

Для задания обводов широко применяется кубический сплайн, реализованный в большинстве САПР. Автомобили, отвечающие современным веяниям моды, имеют плавные («мягкие», гладкие) формы со значительными локальными изменениями кривизны, что приводит к осцилляциям кубического сплайна, устранение которых требует значительных вычислительных затрат. Механической аналогией кубического сплайна является гибкая рейка (балка) [1], что делает естественным задание методами на его основе обводов деталей, изготавливаемых гибкой. Но для большинства деталей кузова или кабины автомобиля, изготавливаемых штамповкой с преобладанием вытяжки (растяжения) материала, было бы естественнее задавать обводы сплайном, аналогичным растянутому стержню. Далее, после задания обводов и вычисления промежуточных точек («загущения» сетки узлов), при генерировании программ для оборудования с ЧПУ найденные точки

последовательно соединяются прямыми отрезками (ломаной) или дугами окружностей (участками парабол), естественным образом соответствующими движениям режущего инструмента. Таким образом методы интерполяции на основе кубического сплайна не всегда дают удовлетворительное решение задачи задания обводов в автомобилестроении.

Данная работа посвящена обобщению линейного сплайна (ломаной) с позиции его механической аналогии как растянутого стержня с целью получения нового интерполяционного сплайна, избавленного от отмеченных недостатков кубического сплайна и, следовательно, наиболее подходящего для задания обводов автомобиля.

2. Линейный сплайн. Линейный сплайн представляет собой ломаную линию, последовательно соединяющую прямыми отрезками заданные точки (узлы). Рассмотрим его получение с позиции механической аналогии. Линейный сплайн является функцией осевых перемещений стержня, растянутого под действием внутренних реакций, вызванных заданным смещением точек этого стержня. Дифференциальное уравнение деформации стержня, работающего на растяжение-сжатие, запишется в виде [2]:

$$- [C(x)u'(x)]' = p(x), \quad \forall x \in (a, b), \quad (2.1)$$

где $C(x)$ – функция жёсткости; $u(x)$ – функция осевых перемещений; $p(x)$ – функция внешней распределённой осевой нагрузки; ось Ox направлена вдоль продольной оси стержня.

Для построения численного алгоритма выберем расчётную сетку:

$$\Delta: a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b. \quad (2.2)$$

Введём в рассмотрение кусочно-постоянные функции жёсткости и внешней нагрузки:

$$C(x) = C_i, \quad p(x) = p_i, \quad \forall x \in [x_{i-1}, x_i], \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.3)$$

С учётом (2.3) и того, что сплайн является функцией перемещений стержня $s(x) = u(x)$, уравнение (2.1) преобразуется к виду:

$$-C_i s''(x) = p_i \quad \text{или} \quad s''(x) = -\frac{p_i}{C_i}, \quad \forall x \in (x_{i-1}, x_i). \quad (2.4)$$

Согласно высказанной выше механической аналогии, на сплайн не действует внешняя нагрузка, в этом случае $p_i = 0$ и уравнение (2.4) преобразуется к следующему однородному уравнению:

$$s''(x) = 0, \quad \forall x \in (x_{i-1}, x_i). \quad (2.5)$$

Дважды понижая порядок уравнения (2.5) операцией неопределённого интегрирования, получим его решение в виде:

$$s(x) = c_{1,i}x + c_{2,i}, \quad \forall x \in (x_{i-1}, x_i), \quad (2.6)$$

где $c_{1,i}$, $c_{2,i}$ – произвольные постоянные, полученные после первого и второго интегрирования, соответственно.

Решение (2.6) уравнения (2.5) представляет собой многочлен первой степени (прямой отрезок) и также является однородным решением уравнения (2.4). Решение в виде (2.6) будем называть решением в кусочно-полиномиальной форме. Далее необходимо разложить полученное решение (2.6) на базисные функции, т.е. получить решение в базисной форме. Для этого произвольные постоянные в решении (2.6) определим из граничных условий интерполяционного участка $[x_{i-1}, x_i]$ – условий интерполирования (краевых условий Эрмита), которые записываются в виде:

$$s(x_{i-1}) = s_{i-1}, \quad s(x_i) = s_i, \quad (2.7)$$

где s_{i-1} , s_i – заданные значения сплайна в $i-1$ и i узлах (координаты заданных точек), соответственно.

Подставляя в условия (2.7) решение (2.6), получим следующую систему линейных уравнений для нахождения произвольных постоянных интегрирования:

$$c_{1,i}x_{i-1} + c_{2,i} = s_{i-1}, \quad c_{1,i}x_i + c_{2,i} = s_i. \quad (2.8)$$

Решая в аналитическом виде систему (2.8), получим выражения для искомых постоянных интегрирования:

$$c_{1,i} = \frac{s_i - s_{i-1}}{d_i}, \quad c_{2,i} = -\frac{x_{i-1}s_i - x_i s_{i-1}}{d_i}, \quad (2.9)$$

где $d_i = x_i - x_{i-1}$ – шаг узлов сетки Δ (2.2).

Подставляя выражения (2.9) в решение (2.6) и группируя множители относительно узловых значений сплайна, получим решение уравнения (2.5), разложенное на базисные функции:

$$s(x) = s_{i-1} \frac{x_i - x}{d_i} + s_i \frac{x - x_{i-1}}{d_i}, \quad \forall x \in [x_{i-1}, x_i]. \quad (2.10)$$

Решение (2.10) является выражением для участка линейного сплайна и представляет собой интерполяционный многочлен Лагранжа первой степени, для которого не требуется определять неизвестные коэффициенты, они уже явно выражены через известные (заданные) параметры. Такой сплайн будем называть однородным линейным сплайном постоянной или кусочно-постоянной жёсткости, т.к. выражение

для участка этого сплайна (2.10) является однородным решением дифференциального уравнения деформации стержня кусочно-постоянной жёсткости (2.4) и в него не входят значения функции жёсткости.

Очевидным недостатком линейного сплайна является отсутствие гладкости, т.е. разрыв первых производных в узлах. Изложенная трактовка известных результатов через призму механической аналогии открывает возможность обобщения линейного сплайна и создания новых методов интерполирования на его основе. В данной интерпретации отрезок прямой может пониматься как растянутая эластичная нить.

3. Неоднородный линейный сплайн кусочно-постоянной жёсткости. Поставим задачу получения сплайна следующим образом: необходимо найти внешнюю распределённую осевую нагрузку на стержень заданной кусочно-постоянной жёсткости, вызывающую заданные перемещения в точках расчётной сетки. Тогда выражение для участка неоднородного линейного сплайна получается из неоднородного решения уравнения (2.4). Дважды понижая порядок уравнения (2.4) операцией неопределённого интегрирования, получим его решение в кусочно-полиномиальной форме:

$$s(x) = -\frac{P_i}{2C_i} x^2 + c_{1,i}x + c_{2,i}, \quad \forall x \in (x_{i-1}, x_i). \quad (3.1)$$

Неоднородное решение (3.1) представляет собой полином второй степени (параболу), но с определённым коэффициентом при x^2 .

Для разложения полученного решения (3.1) на базисные функции подставим его в условия интерполирования (2.7) и получим следующую систему линейных уравнений для нахождения произвольных постоянных интегрирования:

$$-\frac{P_i}{2C_i} x_{i-1}^2 + c_{1,i}x_{i-1} + c_{2,i} = s_{i-1}, \quad -\frac{P_i}{2C_i} x_i^2 + c_{1,i}x_i + c_{2,i} = s_i. \quad (3.2)$$

Решая в аналитическом виде систему (3.2), получим выражения для искомым постоянных интегрирования:

$$c_{1,i} = \frac{P_i(x_i + x_{i-1})}{2C_i} + \frac{s_i - s_{i-1}}{d_i}, \quad c_{2,i} = -\left(\frac{P_i x_{i-1} x_i}{2C_i} + \frac{x_{i-1} s_i - x_i s_{i-1}}{d_i} \right). \quad (3.3)$$

Подставляя выражения (3.3) в решение (3.1) и группируя множители относительно узловых значений сплайна, получим выражение для участка неоднородного линейного сплайна кусочно-постоянной жёсткости:

$$s(x) = \frac{P_i(x_i - x)(x - x_{i-1})}{2C_i} + s_{i-1} \frac{x_i - x}{d_i} + s_i \frac{x - x_{i-1}}{d_i}, \quad \forall x \in [x_{i-1}, x_i]. \quad (3.4)$$

В выражении (3.4) значения функции жёсткости на участках C_i , $i=1,2,\dots,n$ заранее задаются, поэтому функция жёсткости $C(x)$ в данном случае является весовой функцией. Значения функции внешней нагрузки p_i , $i=1,2,\dots,n$ требуют определения, поэтому функция внешней нагрузки $p(x)$ является управляющей функцией [3]. Назовём неизвестные значения нагрузки p_i неизвестными коэффициентами сплайна и будем находить их из условий сопряжения (склейки) участков во внутренних узлах сетки, аналогичным условиям неразрывности внутреннего силового фактора (ВСФ), в данном случае – условия непрерывности функции осевой силы $N(x) = -\int p(x)dx = C(x)u'(x)$, которые с учётом (2.3) записываются в виде:

$$N(x_i - 0) = N(x_i + 0) \text{ или } C_i s'(x_i - 0) = C_{i+1} s'(x_i + 0), \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (3.5)$$

Из условий (3.5) следует, что неразрывность первой производной можно обеспечить равенством значений функции жёсткости на участках $C_i = C_{i+1}$, $i=1,2,\dots,n-1$, т.е. при постоянной функции жёсткости по всей длине сплайна $C_i = C_0$, которую при практических расчётах можно назначить $C_0 = 1$. В исключительных случаях может потребоваться дополнительная регулировка интерполирующей функции. Поэтому оставим возможность изменения этого весового параметра за счёт компромисса с разрывом первой производной.

Запишем первую производную выражения для участка неоднородного линейного сплайна (3.4):

$$s'(x) = -\frac{p_i(2x - x_{i-1} - x_i)}{2C_i} - s_{i-1} \frac{1}{d_i} + s_i \frac{1}{d_i}, \quad \forall x \in [x_{i-1}, x_i]. \quad (3.6)$$

Подставим (3.6) в (3.5) и получим систему линейных уравнений для нахождения неизвестных коэффициентов сплайна p_i :

$$-\frac{p_i d_i}{2} - s_{i-1} \frac{C_i}{d_i} + s_i \frac{C_i}{d_i} = \frac{p_{i+1} d_{i+1}}{2} - s_i \frac{C_{i+1}}{d_{i+1}} + s_{i+1} \frac{C_{i+1}}{d_{i+1}}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (3.7)$$

Сгруппируем множители относительно узловых значений сплайна и перенесем их в левую часть, после преобразований система (3.7) приводится к следующему виду:

$$-s_{i-1} \frac{C_i}{d_i} + s_i \left(\frac{C_i}{d_i} + \frac{C_{i+1}}{d_{i+1}} \right) - s_{i+1} \frac{C_{i+1}}{d_{i+1}} = \frac{p_i d_i}{2} + \frac{p_{i+1} d_{i+1}}{2}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (3.8)$$

Система (3.8) совпадает с системой линейных алгебраических уравнений метода конечных элементов (МКЭ) для нахождения узловых перемещений стержня кусочно-постоянной жёсткости, работающего на

растяжение-сжатие. Преобразуем систему (3.8) к удобному виду для определения неизвестных коэффициентов сплайна p_i :

$$p_{i+1} = -\frac{2}{d_{i+1}} \left[s_{i-1} \frac{C_i}{d_i} - s_i \left(\frac{C_i}{d_i} + \frac{C_{i+1}}{d_{i+1}} \right) + s_{i+1} \frac{C_{i+1}}{d_{i+1}} \right] - \frac{p_i d_i}{d_{i+1}}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (3.9)$$

Системе (3.9) недостаёт одного уравнения, берущегося из краевых условий. Отметим, что для кубического сплайна известно четыре классических типа краевых условий [1]. Первый тип заключается в задании значений первых производных в крайних узлах сплайна, второй – вторых производных, третий – записывается для замкнутых или периодических кривых (условии сопряжения начального и конечного участков), четвёртый – в продолжение сплайна в многочлене, соответствующем степени сплайна, интерполирующем крайние и, по необходимости, соседние с ними участки. Для неоднородного линейного сплайна возможны первый, третий и четвёртый типы классических краевых условий. Отметим, что ввиду малости порядка исходного дифференциального уравнения деформации стержня (2.1) второй классический тип краевых условий совмещается с первым.

О краевых условиях и тестировании разработанного сплайна изложено в продолжающей статье Павленко А.П. и Шамсутдинова И.Р. «Краевые условия квадратичного сплайна для задания обводов кузова легкового автомобиля» данного сборника.

Литература

1. Интерполяционный кубический сплайн минимальной жёсткости / А.С. Кретов, А.П. Павленко, В.Ф. Снигирёв // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. – 2007. – №2. – С.5 – 8.
2. Точные общие решения для стержней переменного сечения, работающих на растяжение-сжатие и кручение / А.П. Павленко, И.В. Колесников // Проектирование и исследование технических систем: межвуз. науч. сборник. Вып. 12. – Набережные Челны: Изд-во ИНЭКА, 2008. – С.22 – 29.
3. Функциональный кубический сплайн минимальной жёсткости / А.П. Павленко, В.Ф. Снигирёв // Проектирование и исследование технических систем: межвуз. науч. сборник. Вып. 10. – Набережные Челны: Изд-во ИНЭКА, 2007. – С. 28 – 40.

Павленко А.П.,
канд. техн. наук, доцент,
Шамсутдинов И.Р.,
канд. техн. наук, доцент

Краевые условия квадратичного сплайна для задания обводов кузова легкового автомобиля

1. Введение. Работа продолжает статью Павленко А.П. и Шамсутдинова И.Р. «Механическая аналогия квадратичного сплайна для задания обводов кузова легкового автомобиля» данного сборника.

2. Краевые условия. Краевые условия будем записывать для начального края сплайна, при необходимости всегда можно провести интерполяцию в обратном порядке нумерации узлов.

Запишем краевое условие первого типа:

$$s'(x_0) = s'_0, \quad (2.1)$$

где s'_0 – заданное значение первой производной сплайна в начальном узле расчётной сетки.

Первая производная выражения для участка неоднородного линейного сплайна определяется выражением:

$$s'(x) = -\frac{p_i(2x - x_{i-1} - x_i)}{2C_i} - s_{i-1}\frac{1}{d_i} + s_i\frac{1}{d_i}, \quad \forall x \in [x_{i-1}, x_i]. \quad (2.2)$$

Подставим выражение для первой производной сплайна (2.2) в условие (2.1), получим:

$$\frac{p_1 d_1}{2C_1} - s_0 \frac{1}{d_1} + s_1 \frac{1}{d_1} = s'_0. \quad (2.3)$$

Из выражения (2.3) выделим нагрузку и получим окончательное расчётное выражение для определения неизвестного коэффициента сплайна на начальном участке для краевого условия первого типа:

$$p_1 = \frac{2C_1}{d_1} \left(s'_0 - \frac{s_1 - s_0}{d_1} \right). \quad (2.4)$$

В частном случае, при $s'_0 = 0$, из краевого условия первого типа получается натуральный неоднородный линейный сплайн кусочно-постоянной жёсткости по аналогии с кубическим сплайном. Натуральный сплайн имеет свободный (ненагруженный сосредоточенной осевой силой) начальный край:

$$N(x_0) = C_1 s'(x_0) = C_1 \left(\frac{p_1 d_1}{2C_1} - s_0 \frac{1}{d_1} + s_1 \frac{1}{d_1} \right) = 0. \quad (2.5)$$

Определив из условия (2.5) нагрузку, получим натуральное краевое условие сплайна как частный случай краевого условия первого типа (2.4) при $s'_0 = 0$:

$$p_1 = -2C_1 \frac{s_1 - s_0}{d_1^2}. \quad (2.6)$$

Отметим, что для кубического сплайна натуральные краевые условия, аналогичные свободным краям балки, т.е. равенству нулю изгибающих моментов (вторых производных сплайна) в крайних узлах, получаются как частный случай краевых условий второго типа. Приведённый выше вывод позволяет утверждать о совмещении для неоднородного линейного сплайна классических краевых условий первого и второго типов.

Краевое условие третьего типа, применяемое для получения замкнутого или периодического сплайна, запишется в виде:

$$N(x_n - 0) = N(x_0 + 0) \text{ или } C_n s'(x_n - 0) = C_1 s'(x_0 + 0). \quad (2.7)$$

Подставим выражение для первой производной сплайна (2.2) в условие (2.7), получим:

$$-\frac{p_n d_n}{2C_n} - s_{n-1} \frac{1}{d_n} + s_n \frac{1}{d_n} = \frac{p_1 d_1}{2C_1} - s_0 \frac{1}{d_1} + s_1 \frac{1}{d_1}. \quad (2.8)$$

Преобразуем выражение (2.8) к окончательному расчётному выражению для краевого условия третьего типа:

$$p_1 = -\frac{2C_1}{d_1} \left(\frac{p_n d_n}{2C_n} - \frac{s_n - s_{n-1}}{d_n} + \frac{s_1 - s_0}{d_1} \right). \quad (2.9)$$

Когда рассмотренные краевые условия (2.4) и (2.9) неизвестны, то применяются дополнительные условия. Вторая производная неоднородного линейного сплайна представляет собой измеримую функцию:

$$s''(x) = -\frac{P_i}{C_i}, \quad \forall x \in (x_{i-1}, x_i), \quad (2.10)$$

поэтому она не имеет след (непрерывное продолжение на края интервала (a, b)) и для её значений нельзя записывать условие на краю сплайна. В силу этого здесь, по аналогии с кубическим сплайном [1], сформулировано условие в соседнем с крайним узле, обычно называемое краевым условием четвёртого типа. Возможно два варианта записи аналогичных условий.

Первый вариант краевого условия четвёртого типа:

$$C_1 s''(x_1 - 0) = C_2 s''(x_1 + 0). \quad (2.11)$$

Подставляя в условие (2.11) выражение для второй производной сплайна (2.10), получим:

$$-C_1 \frac{p_1}{C_1} = -C_2 \frac{p_2}{C_2} \text{ или } p_2 = p_1. \quad (2.12)$$

Второй вариант краевого условия четвёртого типа:

$$s''(x_1 - 0) = s''(x_1 + 0). \quad (2.13)$$

Подставляя в условие (2.13) выражение для второй производной сплайна (2.10), получим:

$$-\frac{p_1}{C_1} = -\frac{p_2}{C_2} \text{ или } p_2 = \frac{C_2}{C_1} p_1. \quad (2.14)$$

Система уравнений для определения неизвестных коэффициентов сплайна p_i записывается в следующем виде:

$$p_{i+1} = -\frac{2}{d_{i+1}} \left[s_{i-1} \frac{C_i}{d_i} - s_i \left(\frac{C_i}{d_i} + \frac{C_{i+1}}{d_{i+1}} \right) + s_{i+1} \frac{C_{i+1}}{d_{i+1}} \right] - \frac{p_i d_i}{d_{i+1}}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (2.15)$$

Подставляя в первое уравнение системы (2.15) полученные дополнительные уравнения (2.12) и (2.14), имеющие одинаковую структуру, для исключения по одному неизвестному коэффициенту сплайна p_2 , окончательно получим расчётные выражения для краевого условия четвёртого типа для первого и второго варианта, соответственно.

Окончательное расчётное выражение для определения неизвестного коэффициента сплайна на начальном участке для первого варианта краевого условия четвёртого типа имеет вид:

$$p_1 = -\frac{2}{(d_1 + d_2)} \left[s_0 \frac{C_1}{d_1} - s_1 \left(\frac{C_1}{d_1} + \frac{C_2}{d_2} \right) + s_2 \frac{C_2}{d_2} \right]. \quad (2.16)$$

Окончательное расчётное выражение для второго варианта краевого условия четвёртого типа имеет вид:

$$p_1 = -\frac{2C_1}{(C_1 d_1 + C_2 d_2)} \left[s_0 \frac{C_1}{d_1} - s_1 \left(\frac{C_1}{d_1} + \frac{C_2}{d_2} \right) + s_2 \frac{C_2}{d_2} \right]. \quad (2.17)$$

В данном случае уравнение второго варианта краевого условия четвёртого типа (2.17) обобщает аналогичное выражение для первого варианта (2.16) и обеспечивает непрерывность второй производной сплайна на крайнем и соседнем с ним участках, на которых сплайн опирается на параболу.

Возможна запись и других неклассических краевых условий, например [2]. Также, если задать $p_1 = 0$, то на начальном участке сплайн вырождается в прямой отрезок.

Выражение для участка неоднородного линейного сплайна кусочно-постоянной жёсткости имеет вид:

$$s(x) = \frac{p_i(x_i - x)(x - x_{i-1})}{2C_i} + s_{i-1} \frac{x_i - x}{d_i} + s_i \frac{x - x_{i-1}}{d_i}, \quad \forall x \in [x_{i-1}, x_i]. \quad (2.18)$$

Сплайн является заданным, если определены все его неизвестные коэффициенты. Таким образом задав значения интерполяционных узлов и весовой функции (жёсткости), определив из системы уравнений (2.15) совместно с соответствующим уравнением из краевых условий (2.4), (2.9), (2.16) или (2.17) неизвестные коэффициенты сплайна и подставив их в выражение для участка сплайна (2.18), по участкам строится график интерполирующей функции, непрерывной до первых производных включительно. Конечно же, данный сплайн можно назвать квадратичным (или параболическим), но в отличие от известных результатов, осмысление его как неоднородного линейного сплайна позволило, помимо устранения резкого изменения кривизны в чётных узлах, естественным образом, а не искусственным, внедрить в его конструкцию весовую и управляющую функции, а также использовать широкий набор краевых условий.

3. Тестовая задача. Рассмотрим интерполирование сплайнами функции с резким локальным изменением кривизны, вполне подходящей для описания обвода багажника современного легкового автомобиля с кузовом типа седан:

$$f(x) = 1 - \frac{e^{100x} - e^{-100x}}{e^{100} - e^{-100}}, \quad \forall x \in [x_0, x_n]. \quad (3.1)$$

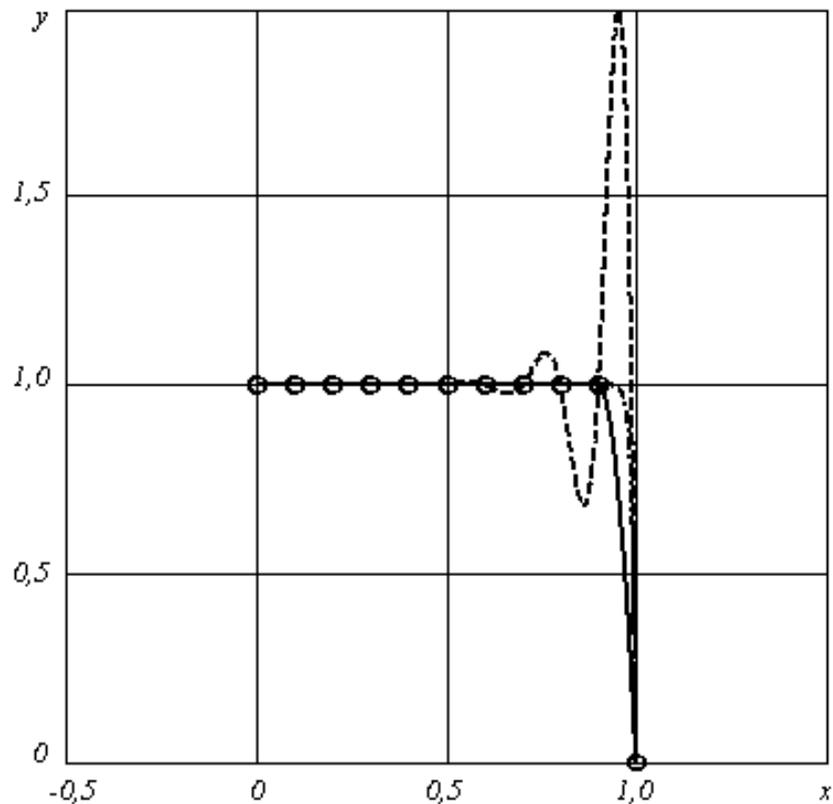


Рис. Графики вычисленных функций

Примем следующие исходные данные интерполирования: сетку Δ : $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$, где $x_0 = 0$; $x_n = 1$, с постоянным шагом узлов при $n = 10$ и значениями функции (3.1) в узлах сетки Δ . Для интерполяционных сплайнов примем краевые условия первого типа: $s'(x_0) = f'(0) = 0$ и $s'(x_n) = f'(1) = -100$. Эта задача приведена в работе [3] в качестве теста для интерполяционных сплайнов и, следует отметить, является одним из «тяжёлых» тестов для задач интерполирования.

Значения весовой функции (жесткости) зададим равными по всей длине сплайна: $C_i = C_0 = 1, i = 1, 2, \dots, n$.

На рис. показаны графики вычисленных функций: штрихпунктирная линия – интерполируемой функции (3.1), штриховая – кубического сплайна, сплошная – неоднородного линейного сплайна постоянной жесткости. Окружностями показаны интерполируемые узлы. Численные результаты показывают отсутствие осцилляций у неоднородного линейного сплайна, при этом он достаточно хорошо воспроизводит интерполируемую функцию, отличия от которой имеются только на одном из участков. В то время как кубический сплайн значительно осциллирует.

4. Заключение. В данной работе выполнено развитие теории сплайн-интерполяции. Показано, что сплайны можно получать как на основе

однородных, так и неоднородных решений исходных сплайновых уравнений. На основе неоднородного решения уравнения, аналогичного уравнению деформации стержня, работающего на растяжение-сжатие, получен квадратический сплайн, естественным образом включающий весовую и управляющую функции, аналогичные функциям жёсткости и внешней распределённой осевой нагрузки стержня, и позволяющий непосредственно учитывать классические краевые условия. Данный сплайн назван неоднородным линейным сплайном кусочно-постоянной жёсткости. При равенстве всех значений весовой функции на участках обеспечивается непрерывность первой производной сплайна по его длине. Значения управляющей функции являются неизвестными коэффициентами сплайна и отыскиваются из системы уравнений совместно с краевым условием для начального узла методом прямой подстановки, имеющим минимальные вычислительные затраты. Выражения для участков сплайна представляют собой многочлены второй степени с фиксированным коэффициентом при высшей степени, которые имеют меньшую осциллирующую способность, и, следовательно, более подходящие для задания обводов автомобилей с резким локальным изменением кривизны, чем кубический сплайн. Также при генерировании программ для оборудования с ЧПУ найденные точки непосредственно задаются дугами окружностей, соответствующими движениям режущего инструмента. Полученный сплайн ввиду своей механической аналогии лучше описывает поведение материала при изготовлении форм деталей методами штамповки с преобладанием вытяжки. Работоспособность и эффективность сплайна подтверждается тестовыми расчётами. Таким образом в работе получен интерполяционный сплайн, требующий меньших вычислительных затрат и обладающий меньшей осциллирующей способностью в сравнении с кубическим сплайном, и, следовательно, имеющий определённые преимущества при задании обводов автомобиля.

Литература

1. Интерполяционный кубический сплайн минимальной жёсткости / А.С. Кретов, А.П. Павленко, В.Ф. Снигирёв // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. – 2007. – №2. – С.5 – 8.

2. Снигирёв В.Ф. Неклассический вариант краевых условий для кубического вектор-сплайна // Журнал вычислительной математики и математической физики. Т. 36. – №12. – М.: Наука, 1996. – С.23 – 27.

3. Функциональный кубический сплайн минимальной жёсткости / А.П. Павленко, В.Ф. Снигирёв // Проектирование и исследование технических систем: межвуз. науч. сборник. Вып. 10. – Набережные Челны: Изд-во ИНЭКА, 2007. – С.28 – 40.

Хабибуллин Р.Г.,

д-р техн. наук, профессор,

Маврин В.Г.,

канд. техн. наук, доцент

Совершенствование инфраструктуры обслуживания автомобилей в крупных городах с учетом экологических факторов

Несмотря на кризисные явления в российской экономике, динамика роста автомобильного парка является достаточно высокой, что связано, в первую очередь, с увеличением числа легковых автомобилей. Этот процесс происходит в условиях существенного отставания экологических показателей эксплуатируемых в РФ автотранспортных средств (АТС) и используемых ГСМ от достигнутого мирового уровня, а также отставания в развитии и техническом состоянии транспортной инфраструктуры.

В связи с этим трудно переоценить значение эффективной организации сервисного обслуживания и ремонта автомобилей для экономики страны с учетом экологической опасности как самих автосервисных предприятий (АСП), так и источников их выбросов – автомобилей.

На всех стадиях жизненного цикла автомобиля происходит эмиссия загрязняющих веществ (ЗВ) в окружающую среду (ОС). В условиях ужесточения экологического законодательства, увеличения активности экологических служб, под давлением общественного мнения и исходя из экономических соображений, мировые производители автомобилей уделяют серьезное внимание снижению эмиссии ЗВ на всех стадиях жизненного цикла автомобиля. Большинство крупных компаний имеют эффективную систему экологического менеджмента (СЭМ), серьезно относятся к подбору поставщиков, требуя от них также функционирующей СЭМ, улучшают топливно-экологические и экономические характеристики своих автомобилей. При этом в меньшей степени учитывается вклад процесса поддержания автотранспортных средств в технически исправном

состоянии как части жизненного цикла автомобиля в загрязнение окружающей среды. Поэтому в этой части существуют большие резервы для снижения негативного воздействия автомобиля на окружающую среду.

Кроме того, производственно-техническая база предприятий автосервиса также оказывает значительное воздействие на ОС. Вклад стационарных источников, которые находятся на балансе предприятий автосервиса, составляет 6-18% общих выбросов ЗВ в атмосферу крупных городов [1, с.37].

Снижение негативного воздействия АСП на окружающую среду возможно при создании на предприятиях реально функционирующей системы экологического менеджмента, отвечающей стандарту ISO 14001. Процесс создания СЭМ и сертификации по стандарту ISO 14001 является дорогостоящим и длительным. Однако в интересах автопроизводителей оказать помощь своим дилерам в процессе создания СЭМ. Они могут выступить инициаторами, инвесторами и консультантами при сертификации предприятий. В этом случае производители смогут заявить, что их продукция является действительно экологически безопасной на всех стадиях жизненного цикла.

Другой способ решения проблемы – использование научно обоснованных методов и моделей при проектировании дилерско-сервисной сети в целях равномерного распределения воздействия АСП на ОС путем оптимизации территориального размещения предприятий автосервиса с учетом экологических факторов.

Дилерско-сервисная сеть представляет собой сложную организационно-техническую систему, при проектировании которой к наилучшему результату приводит использование методов имитационного моделирования, поскольку в этом случае входные потоки не ограничиваются требованиями стационарности, однородности, отсутствием последействия и т.п., что позволяет в процессе моделирования получить результат, подтвержденный практическим опытом [2, с.15].

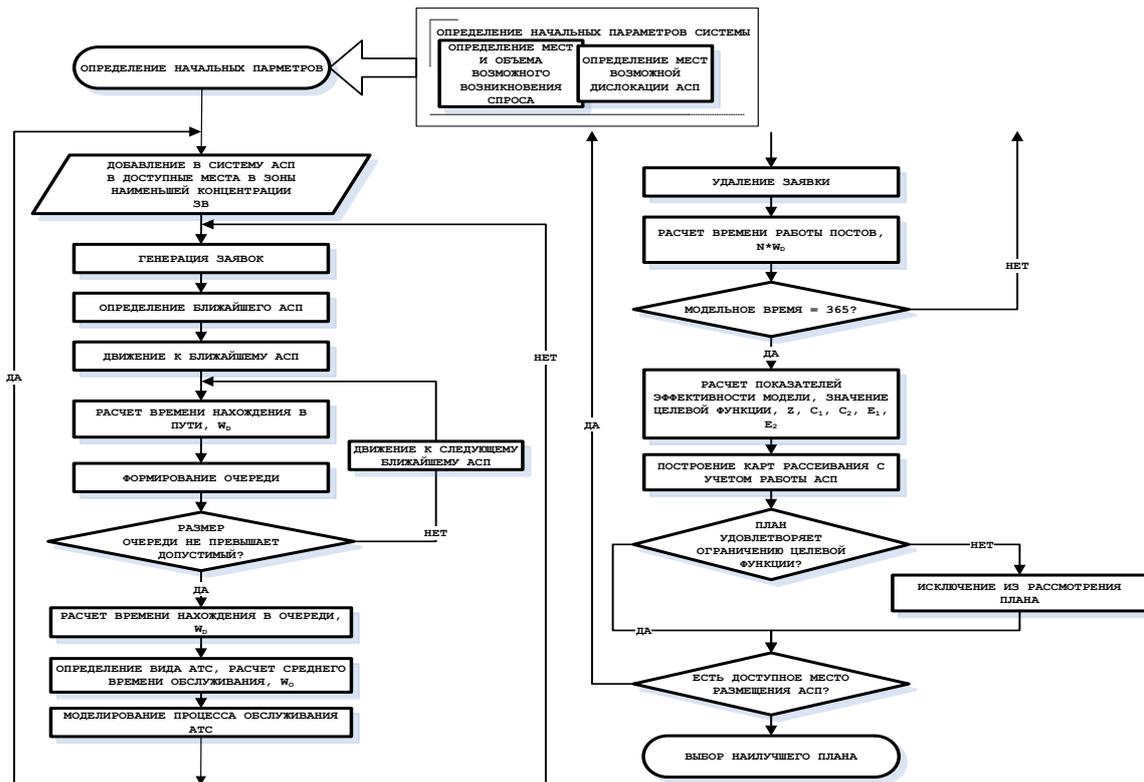
В качестве объекта моделирования выступает территория (например, город), где можно выделить места концентрации автомобилей и места дислокации предприятий автосервиса. Процесс моделирования предлагается начать с задания исходных параметров (определения мест концентрации автомобильного парка, прогнозирования спроса, определения допустимых мест дислокации предприятий), а также первоначального состояния сети АСП.

подавляющее количество автотранспортных средств в крупных городах хранится на открытых охраняемых стоянках, в гаражных

кооперативах и придомовых территориях (дворах). Поэтому при разработке модели под местом дислокации автомобилей и, соответственно, местом возникновения спроса (автомобилей, нуждающихся в ТО и Р) будем считать стоянки, гаражи и группы домов.

При определении допустимых мест дислокации предприятий автосервиса необходимо учитывать законодательные запреты на размещение АСП в определенных местах и экологический запрет на размещение АСП в тех зонах, где концентрация загрязняющих веществ превышает предельно допустимые нормы, так как дополнительные источники загрязнения в этих зонах будут крайне негативно сказываться на состоянии ОС. В этой связи размеры (количество постов) автосервисных предприятий должны быть минимальными, чтобы наименьшим образом воздействовать на ОС, и располагаться они должны как можно ближе к источникам возникновения спроса (жилым домам, стоянкам и гаражам) для минимизации воздействия на ОС и затрат клиентов при доставке АТС, но при этом их расположение не должно противоречить действующему законодательству и нормативным документам. Кроме того, размеры АСП должны быть достаточными, чтобы минимизировать затраты владельцев АТС на ожидание в очереди.

Полагаем, что в первом плане одно-единственное АСП, расположенное в зоне наименьшей концентрации загрязняющих веществ, обслуживает весь парк АТС. Для определения оптимального числа постов предприятия реализуется оптимизационный эксперимент. Далее выполняется имитационная модель функционирования автосервисной сети и рассчитываются показатели её эффективности. Во второй и последующие планы добавляются по одному АСП также в зоны наименьшей концентрации ЗВ с учетом допустимых мест дислокации. Оптимизационный эксперимент реализуется для каждого плана размещения АСП. При этом предполагается, что качество и спектр услуг и ценовая политика АСП не отличаются, а клиенты предпочитают обслуживать автомобили в ближайших АСП. Показатели эффективности модели (затраты владельцев АТС на доставку автомобилей и ожидание в очереди, число удовлетворенных заявок, время простоя постов) рассчитываются для каждой итерации. По результатам анализа показателей выбирается наилучший вариант (номер плана и номер итерации). Блок-схема алгоритма функционирования модели выбора мест размещения АСП при проектировании сети представлена ниже.



Математическую формулировку имитационной модели можно представить следующим образом:

$$\begin{cases} Z = Z_1 + Z_2 \rightarrow \min \\ \psi_k < \bar{\psi}_\theta(E_1^k), \end{cases} \quad (1)$$

где $Z_1(W_p, W_d, W_w) = C_1 + C_2$ – затраты системы автосервиса, руб.;

$Z_2(W_d, n) = E_1 + E_2$ – величина ущерба, нанесенного окружающей среде, руб.,

где C_1 – затраты предприятий, связанные с простоем рабочих постов, $C_1 = S_1 \cdot W_p$, S_1 – затраты предприятий, связанные с простоем одного поста в день, руб./день, W_p – суммарное время простоя постов предприятий автосервиса, дней;

C_2 – затраты владельцев автомобилей, связанные с доставкой АТС на АСП и ожиданием в очереди, $C_2 = S_2 \cdot (W_d + W_w)$, где S_2 – средняя заработная плата, руб./день, W_d и W_w – суммарное время доставки всех АТС на АСП и суммарное время ожидания обслуживания всех обращений соответственно, дней;

E_1 – величина экологического ущерба от деятельности автосервисных предприятий, руб., $E_1 = \Pi_{н\text{атм}} \cdot n$, где $\Pi_{н\text{атм}}$ – величина экологического ущерба на один автомобиле-заезд, руб., n – число автомобиле-заездов;

E_2 – величина экологического ущерба, связанная с доставкой автомобилей на АСП, руб., $E_2 = W_d \cdot \vartheta \cdot \Pi_m$, где ϑ – средняя скорость движения автомобилей рассматриваемой системы, км/ч, Π_m – величина экологического ущерба от движения автомобиля на 1 км;

$\psi_k < \bar{\psi}_\theta(E_1^k)$ – ограничение, накладываемое на территориальное размещение предприятий автосервиса (концентрация ЗВ должна быть меньше предельно допустимой).

Экологический ущерб от деятельности АСП выражен в затратах на ликвидацию последствий загрязнения окружающей среды, рассчитывается:

$$\Pi_{натм} = n \cdot \sum_i C_{натм}^i \cdot M_i \cdot K_{затм} \cdot K_{ин}, \text{ руб.}, \quad (2)$$

где $C_{натм}^i$ – норматив платы за выброс 1 тонны i -го загрязняющего вещества, установлен постановлением Правительства РФ от 12 июня 2003 г. N 344;

M_i – фактическая масса выброса i -го загрязняющего вещества (т) одного автомобиле-заезда, определяется исходя из структуры автопарка рассматриваемого региона, нормативов ТО и Р автомобилей, структуры выбросов ЗВ при проведении операций по ТО и Р;

$K_{затм}$ – коэффициент, учитывающий экологический фактор состояния атмосферного воздуха в рассматриваемом регионе;

$K_{ин}$ – коэффициент индексации платы за негативное воздействие на окружающую среду, устанавливается ежегодно законом о бюджете Российской Федерации.

В результате реализации модели можно найти баланс между показателями эффективности системы автосервиса (затратами предприятий автосервиса, связанных с простым постов), удовлетворенности клиентов АСП (затратами владельцев на доставку АТС для ТО и Р, временем ожидания в очереди) и воздействия на окружающую среду (объемом экологического ущерба).

Литература

1. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2013 году [Электронный ресурс]. – URL: <http://eco.tatarstan.ru/gosdoklad/2013.htm> (дата обращения: 02.02.2015).

2. Кобелев Н.Б. Имитационное моделирование: учеб. пособие / Н.Б. Кобелев, В.А. Полковенков, В.В. Девятков. – М.: Инфра-М, 2014. – 338 с.

Шубенкова К.А.,
ст. преподаватель

Оптимизация маршрутной сети городского пассажирского транспорта с применением современных методов моделирования

Для предупреждения значительного увеличения выбросов от транспорта, ухудшения качества воздуха и дальнейшего развития изменения климата ЮНЕП вместе с фондом "Международная автомобильная федерация" (ФИА) и Международным транспортным форумом в рамках Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) инициировала кампанию «На 50 к 50-му», целью которой является повышение эффективности мирового автопарка по меньшей мере на 50 процентов к 2050 году. Одним из путей достижения поставленной цели является переход от частных автомобилей к общественному транспорту без ущерба для мобильности населения. Однако на сегодняшний день у автовладельцев недостаточно мотивации для пользования общественным транспортом [1]. В городах должна быть создана такая система городского пассажирского транспорта (ГПТ), которая, с одной стороны, будет обеспечивать комфорт и безопасность передвижений пассажиров при наименьших как временных, так и денежных затратах, а с другой – будет формироваться с учетом пропускной способности улично-дорожной сети (УДС), с точки зрения минимизации нагрузки на окружающую среду, а также с точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения.

Исходя из вышесказанного, поставлена цель: разработать предложения по оптимизации маршрутной сети г. Набережные Челны, внедрение которых позволит общественному транспорту составить достойную конкуренцию автомобилям, находящимся в личном пользовании.

Для достижения озвученной цели были поставлены следующие задачи:

- провести анализ показателей функционирования городского пассажирского транспорта, влияющих на выбор способа передвижения.

- Выявить показатели, которые могут быть оптимизированы в г. Набережные Челны.

- Провести натурные исследования транспортных потоков и пассажиропотоков, анализ и оценку их объема и структуры.

- Разработать маршрутную сеть, удовлетворяющую спросу на транспортные услуги.

- Провести корректировку разрабатываемых предложений на основании результатов компьютерного эксперимента.

Проведенный анализ показал, что при выборе между личным автомобилем и общественным транспортом существенное влияние оказывают такие показатели функционирования городского пассажирского транспорта, как возможность достичь любой точки города с минимальным количеством пересадок и за минимальный временной интервал, комфортабельность автобусов и стоимость проезда.

Перечисленные показатели зависят от структуры парка ПС и процентного соотношения муниципального и коммерческого транспорта на маршрутах. В среднем по России частными предприятиями осуществляется перевозка более 20% пассажиров. В городе Набережные Челны эта проблема стоит еще более остро, поскольку индивидуальными предпринимателями осуществляется перевозка 87% пассажиров, а такое крупное предприятие пассажирского транспорта, как ЗАО «ПАК-Инвест» работает в основном на рынке вахтовых перевозок, объем которых составляет лишь 13% от общего числа пассажиров [2].

Еще одной острой проблемой общественного транспорта в г. Набережные Челны является неполное соответствие маршрутов ГПТ существующим потребностям пассажиров, поскольку в последние годы структура пассажиропотоков города изменялась, в то время как маршрутная сеть практически не претерпела никаких изменений. Кроме того, прямоугольная планировка города обуславливает множественное наложение маршрутов. Очевидно, что есть необходимость корректировки движения данных маршрутов, а также количественных и структурных характеристик действующего на них подвижного состава.

Используя теоретические положения пассажирских перевозок, была разработана новая маршрутная сеть, учитывающая произошедшие изменения в пассажирообразующих точках города. Для этого город был разделен на 75 транспортных районов, пути передвижения между которыми формировались из расчета минимальных временных затрат пассажиров. Улично-дорожная сеть города была разбита на участки,

каждый из которых был обозначен буквой. Предлагаемая маршрутная сеть построена таким образом, чтобы каждый транспортный район города был соединен со всеми остальными.

Основные преимущества разработанной маршрутной сети:

1. На сегодняшний день в пос. Сидоровка, где транспортная потребность населения невелика, существует 11 маршрутов. В предлагаемой схеме это количество сокращено до 6, при этом данный транспортный район соединен со всеми четырьмя проспектами Нового города, с пос. ЗЯБ и с новыми комплексами на ул. Раскольникова.

2. По участку между остановками «Пединститут» и «Челныгорстрой» на данный момент проходит 20 маршрутов. Это количество было сокращено до 8, без потери возможности пассажиров добраться в любую точку города.

3. Разработаны поперечные маршруты, соединяющие

- пр. Чулман с пр.Мира (подобного маршрута на сегодняшний день не существует, что очень неудобно);
- пр. Московский и пр. Сюзумбике (в частности, соединены те районы, которые не связаны трамвайными линиями);
- пр. Раскольникова со всеми транспортными районами города и т.д.

Оценку эффективности разработанной маршрутной сети предлагается проводить на компьютерной модели. Различных программных продуктов для моделирования транспортных потоков в масштабах мегаполиса и выше не так много. Проведенный сравнительный анализ используемых подходов показал, что применяемые в настоящее время программные средства позволяют решать различные задачи с помощью компьютерного эксперимента на модели. Это такие разработки, как VISSIM и VISUM фирмы PTV Vision®, которые находят применение как за рубежом, так и в России, хотя были созданы уже около 30 лет назад в Германии; AnyLogic, отечественная разработка, позволяющая создавать модели, применяемые в различных областях исследований; среда моделирования GPSS World.

Для транспортного планирования и оптимизации общественного транспорта VISUM используется по всему миру. VISUM представляет собой обширную, гибкую систему для транспортного планирования, расчета спроса на транспорт (матрицы корреспонденций для общественного и индивидуального транспорта), анализа транспортной сети, расчета себестоимости общественного транспорта и прогноза запланированных мероприятий и их последствий.

С целью определения оптимального управленческого решения, был проведен анализ нагрузки участков УДС города при обоих вариантах маршрутной сети городского пассажирского автотранспорта. Результаты представлены на рис. 1 и рис. 2. Как и предполагалось, самым проблемным участком оказался пр. Набережночелнинский, где сливаются 4 параллельных проспекта (1469 транспортных средств (ТС) на двух полосах). Однако при новой разработанной схеме маршрутной сети это число снижается до 1212 ТС. Точно так же снизилась нагрузка и на все остальные участки УДС.

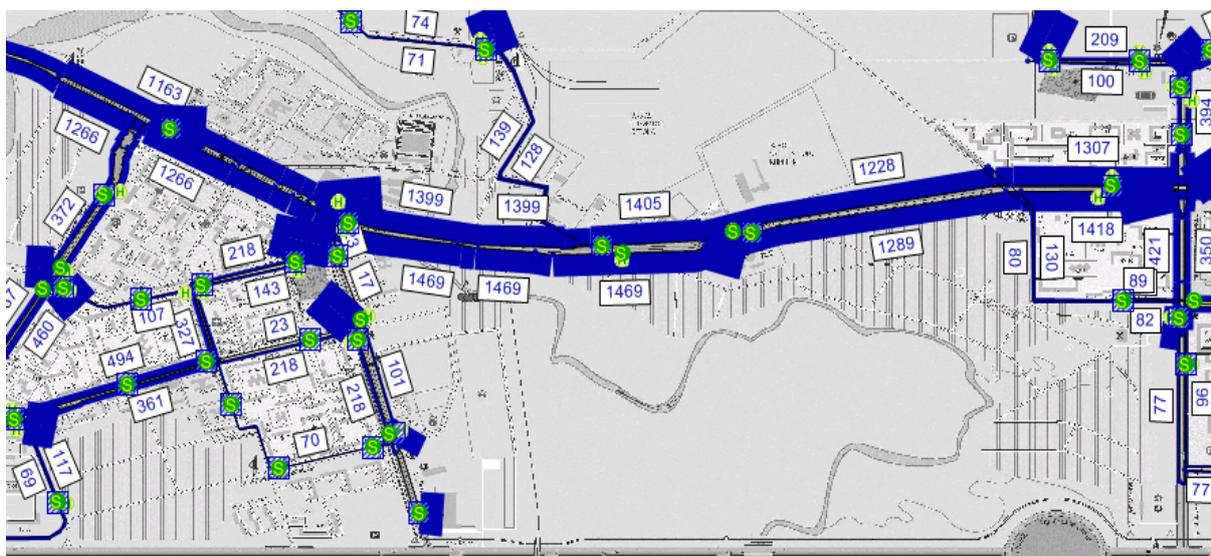


Рис. 1. Нагрузка УДС города при существующей маршрутной сети

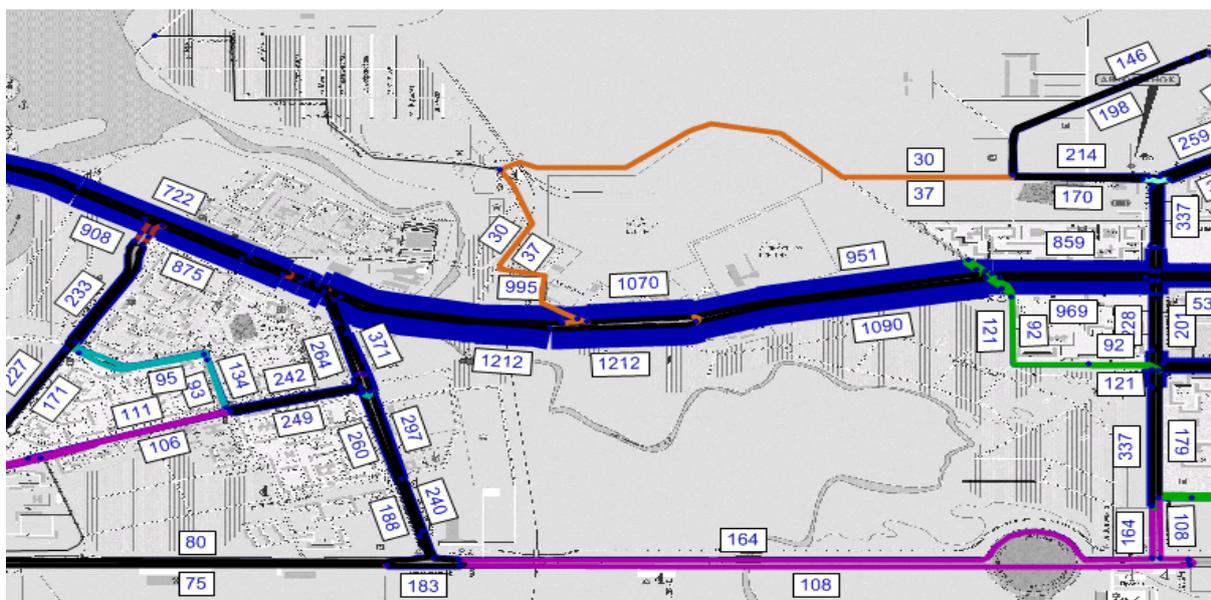


Рис. 2. Нагрузка УДС города при разработанной маршрутной сети

Таким образом, построив в данной среде моделирования существующую маршрутную сеть, а затем – разработанную, и после проведения оптимизационного эксперимента, появилась возможность анализа эффективности функционирования общественного транспорта г. Набережные Челны и выработки рекомендаций по оптимизации его работы.

Литература

1. «ЗЕЛЕНЫЙ» ТРАНСПОРТ (из ежегодного доклада ЮНЕП за 2009 г.): [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.unep.com.ru/energenv/101.html> Дата обращения 7.02.2015.

2. Система поддержки принятия решений как средство управления транспортной системой города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, К.А. Шубенкова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – №9. – С. 57-60.

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»

Ахметшин Р.С.,
канд. техн. наук, доцент
Дрогайлова Л.Н.,
ст. преподаватель

Повышение надёжности ОРУ-110(220) кВ по схеме «сдвоенного мостика»

Известна [1] электрическая схема и компоновка оборудованием открытого распределительного устройства (ОРУ) подстанции (ПС) «сдвоенного мостика», из выключателей и с отделителями (или выключателями) в цепи трансформатора. При использовании этой схемы для трёх присоединений линий электропередачи выявляется существенный недостаток, заключающийся в отсутствии ремонтного байпасного «шунта» из разъединителей на каждом выключателе. Отсутствие ремонтного байпасного шунта со стороны линий, между

первой и третьей, а также второй и третьей, снижает надежность электроснабжения подстанции и потребителей на линиях при ремонте или аварии одного из двух выключателей «сдвоенного мостика».

Наличие связи из разъединителей ремонтного байпасного шунта между первой и третьей, а также второй и третьей линиями (1ВЛ, 2ВЛ, 3ВЛ) электропередачи позволяет при выводе из эксплуатации одной из высоковольтных линий, осуществлять электроснабжение обоих силовых трансформаторов по оставшимся в эксплуатации линиям электропередачи.

Для повышения надежности электроснабжения двух силовых трансформаторов подстанции и потребителей на отходящих линиях электропередачи, в случае отказа одного из выключателя «сдвоенного мостика», предлагается: каждый выключатель «сдвоенного мостика» дополнить ремонтным байпасным шунтом из двух разъединителей. Соответственно первый ремонтный байпасный шунт соединяет первую и третью линии электропередачи и второй ремонтный байпасный шунт соединяет вторую и третью линии электропередач, причем проводник между двумя смежными разъединителями ремонтных байпасных шунтов подключен к проводнику между двумя смежными разъединителями «сдвоенного мостика», через дополнительный разъединитель. На рис. 1 и 2 показаны:

- 1ВЛ, 2ВЛ и 3ВЛ – первая, вторая и третья присоединенные линии электропередачи;
- 1TV, 2TV и 3TV – трансформаторы напряжения, подключенные соответственно к первой, второй и третьей линиями электропередачи;
- 1QS, 3QS и 5QS – разъединители оборудования присоединения первой, второй и третьей линиями электропередачи;
- 7QS, 8QS – разъединители выключателю 1Q;
- 9QS, 10QS – разъединители выключателю 2Q;
- 11QS1, 11QS2, 12QS1, 12QS2 – разъединители ремонтных байпасных шунтов соответственно выключателей 1Q и 2Q;
- 6QS - разъединитель, предназначен для соединения средних точек байпасных шунтов и «сдвоенного мостика»;
- 1БП, 2БП и 3БП – блоки присоединения к линии электропередачи (1ВЛ, 2ВЛ и 3ВЛ), содержащие оборудование высокочастотной связи и трансформаторы напряжения (1TV, 2TV и 3TV) и ограничители перенапряжения (1UF, 2UF, 3UF);

- 1ТА, 2ТА и 5ТА – трансформаторы тока соответственно в присоединении первой, второй и третьей линии электропередачи;
- 3ТА и 4ТА – трансформаторы тока соответственно в электрической цепи выключателей 1Q, 2Q;
- ОП – концевая опора 110(220) кВ;
- 1П, 2П и 3П – порталы;
- 1СШ, 2СШ и 3СШ – шины.

Выключатели 1Q и 2Q соответственно с разъединителями 7Q, 8Q и 9Q, 10Q образуют «сдвоенный мостик». Предлагаемое устройство работает следующим образом:

1. Аварийный режим или ремонтный режим при отключении одной из двух линий электропередач 1ВЛ (2ВЛ). При этом выключатель 1Q (2Q) с его разъединителями 7QS и 8QS (9QS и 10QS) также отключен. В этом режиме оба силовых трансформатора 1Т и 2Т будут в работе благодаря разъединителям 11QS1, 11QS2 и 12QS1, 12QS2 ремонтных байпасных шунтов. Через разъединители 11QS1, 11QS2 и 12QS1, 12QS2 осуществляется транзит электрической мощности на оба силовых трансформатора 1Т и 2Т.

2. Режим аварийный или ремонтный с отключением одного из двух выключателей 1Q (2Q). Соответственно разъединители 7QS, 8QS (9QS и 10QS) также отключаются. В этом режиме транзит электрической мощности от линий электропередач 1ВЛ, 2ВЛ и 3ВЛ будет сохранен за счет разъединителей 11QS1, 11QS2 и 12QS1, 12QS2 ремонтных байпасных шунтов.

3. Режим при ремонте разъединителей 11QS1, 11QS2 и 12QS1, 12QS2 ремонтных байпасных шунтов. В этом случае ремонт осуществляется поэтапно за счет последовательно, смежно подключенных с каждой стороны разъединителей, которые также отключаются. В этом поэтапном режиме транзит электрической мощности будет осуществляться в начале через выключатель 1Q и по окончании ремонта этого этапа, далее через выключатель 2Q ремонта другого этапа.

Компоновка оборудования ОРУ предлагаемой схемы приведена на рис.2.

С концевой опоры ОП выполнены спуски линий электропередач 1ВЛ, 2ВЛ и 3ВЛ на приемные порталы 1П, 2П и 3П. В оси портала, шин 1СШ, 2СШ и 3СШ и присоединения силовых трансформаторов 1Т и 2Т выставлено каскадно коммутационное и измерительное оборудование.

Для первой линии электропередач (1ВЛ) и для первого силового трансформатора 1Т образуется первый ряд из оборудования: 1БП(1ТВ, 1UF), 1QS, 1ТА, 2QS. Соответственно, для второй линии электропередач (ВЛ2) и для второго силового трансформатора 2Т образуется второй ряд из оборудования: 2БП(2ТВ, 2UF), 3QS, 2ТА, 4QS. Для третьей линии электропередач 3ВЛ и шинами 3СШ образуется третий ряд из оборудования: 3БП(3ТВ, 3UF), 5QS, 5ТА и 6QS.

Следующее оборудование: 7QS, 1Q, 8QS и 9QS, 2Q, 10QS образует так называемый «сдвоенный мостик» между разъединителями 1QS, 5QS и 3QS. Предложенные ремонтные байпасные шунты (ремонтная перемычка) образуются разъединителями 11QS1(2) и 12QS1(2) и дополняются обязательно разъединителем 6QS. При этом 6QS соединяет средние точки ремонтного байпасного шунта и «сдвоенного мостика».

Причем проводники (шины) между оборудованием 7QS, 1Q, 8QS и 9QS, 2Q, 10QS «сдвоенного мостика» и 6QS конструктивно выполнены из труб алюминиевого сплава с опорными конструкциями разных высотных отметок.

Литература

1. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. С. С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

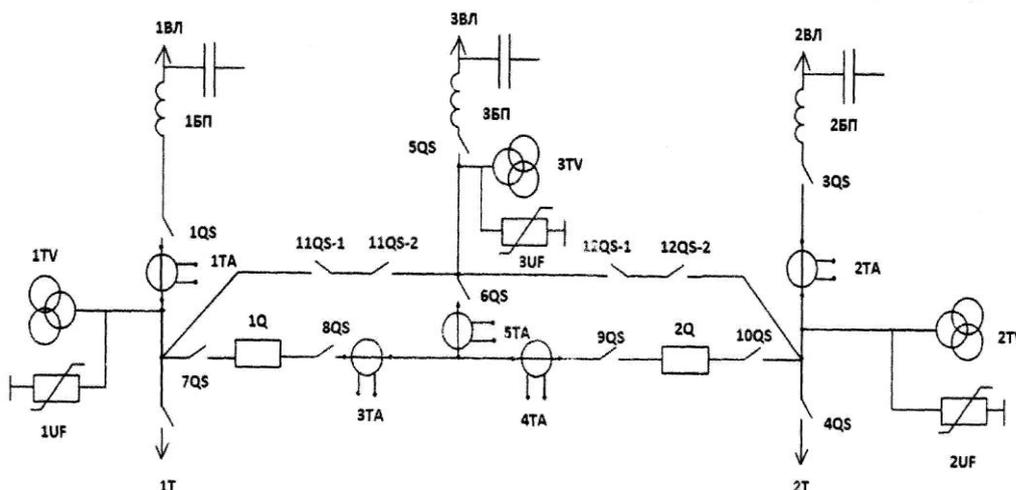


Рис. 1. Схема ОРУ-110(220) кВ с тремя присоединениями ВЛ и ремонтной перемычкой из байпасных шунтов

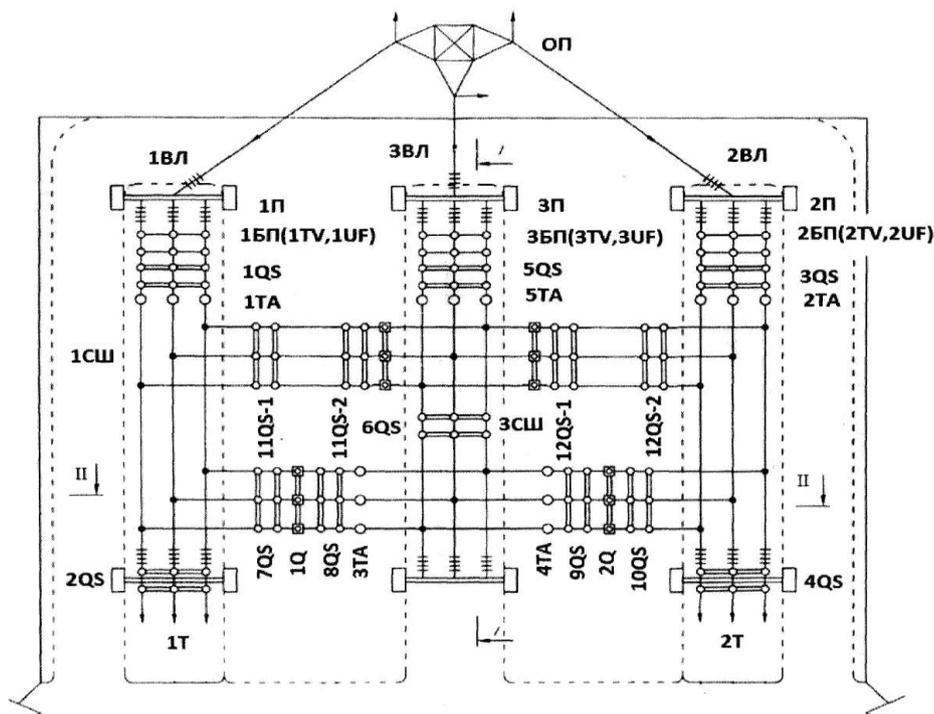


Рис. 2. План расположения ОРУ-110(220) кВ с тремя присоединениями ВЛ и ремонтной перемычкой из байпасных шунтов

Ахметшин Р.С.,
канд. техн. наук, доцент,
Хазиев М.Л.,
ст. преподаватель

Устройство утилизации отходов животноводства

Установки метанового брожения широко применяются в целях выработки горючего газа – биометана, биологического топлива и биологических удобрений. Известны конструкции аппаратов метанового брожения [1, с. 40; 2, с. 18-19; 3], каждая из конструкций имеет ряд недостатков, таких как: низкая степень распада органического субстрата, вызванного избыточностью аммонийного азота; недостаточной степенью измельчения целлюлозосодержащих компонентов субстрата; отсутствие автоматизации процесса брожения и отсутствие непрерывности процесса брожения в камерах. Авторами была поставлена цель создания установки метанового брожения, конструкция которой устраняла бы недостатки прочих аппаратов, осуществляя непрерывность процесса брожения в

камерах путем автоматизации перемешивания, поддержания температурного режима для воспроизводства активных бактерий.

Цель достигается конструктивными особенностями устройства утилизации отходов животноводства, содержащего горизонтальный корпус, разделенный вертикальными перегородками на камеру кислого брожения, где углеводы, белки и жиры под действием метанобразующих бактерий превращаются в органические кислоты, камеру нейтрального брожения, где происходит дальнейший рост рН, камеру щелочного брожения, где органические кислоты и азотистые вещества разлагаются с образованием аммонийных соединений, аминов и других продуктов, обладающих щелочными свойствами, и камеру метанового брожения, где выделившийся в процессе брожения метан попадает в газовую полость в верхней части. В нижней части устройства содержатся осадительная полость, разгрузочное устройство. Внутри корпуса расположено перемешивающее средство, в свою очередь снабженное загрузочным устройством и взаимодействующим с ним измельчителем, включающим корпус, содержащий зернистую абразивную засыпку. В качестве абразивной засыпки могут выступать гранулы керамзита размером порядка 25 мм. Измельчитель также снабжен перфорированной перегородкой в стенке для сообщения его с камерой кислого брожения, и приводным валом с лопастями. Осадительная камера снабжена перемешивающим средством, выполненным в виде приводного горизонтального вала с лопастями, взаимодействующими с вертикальными перегородками, последние на участке взаимодействия с лопастями выполнены перфорированными. Упомянутый корпус выполнен в горизонтально коническом исполнении с увеличивающимся диаметром камер брожения, а вершина конуса имеет цилиндрическую камеру, сверху которой размещён бункер непрерывной загрузки. С торца камеры предусмотрен электропривод, который вращает вал со шнеком, размещённый внутри цилиндрической камеры, измельчающий исходный материал определённой влажности и подающий в первую смежную камеру брожения. Далее по ходу процесса предусмотрены последующие камеры. В каждой камере оси вращающих лопаток расположены соосно, валы имеют определённый размер и крепятся через стенку корпуса в основании конуса, при этом поверхность упомянутого конического корпуса и цилиндрической камеры с бункером, непрерывной подачи исходного сырья, дополнительно покрыты теплоизоляционными материалами. Сверху корпуса предусмотрены пакеты солнечного коллектора, в которых от солнечной энергии нагревается теплоноситель. Внутри стенок

конического корпуса и цилиндрической камеры с бункером непрерывной подачи предусмотрены вмонтированные трубы, через которые производится обогрев камер брожения теплоносителем, нагретым в упомянутых солнечных коллекторах, а внутренняя поверхность стен камер брожения выполнена из пористого материала, улучшающего условия воспроизводства активных бактерий брожения. Скорости вращения электроприводов регулируются подбором оптимальных режимов подачи исходного сырья, измельчения и подачи в камеры брожения, а также перемешивания камер брожения.

Устройство утилизации отходов жизнедеятельности животноводства (рис. 1) работает следующим образом: подлежащий обработке субстрат-загрузку (стоки и отходы жизнедеятельности животных) подают в загрузочное устройство 7 посредством внешнего устройства загрузки. При попадании отходов жизнедеятельности в корпус 14 происходит измельчение и истирание целлюлозосодержащих компонентов загрузки (соломы, листового опада, опилок, сена и т.д.) за счет интенсивного контакта с зернистой абразивной засыпкой 18, представляющей собой, например, гранулы керамзита размером порядка 25 мм, которые взаимодействуют с лопастями 17, причем выход взвесей из корпуса 14 возможен только в том случае, если размер частиц взвесей будет меньше размеров перфораций перегородки 19. Аналогичным образом происходит перемещение по камерам 3, 4, 5 и 6 через перфорированные участки перегородок 2, что обеспечивает более тонкое измельчение твердой составляющей в загрузке (субстрате) в отличие от прототипа.

За счет ввода целлюлозосодержащих компонентов достигается соотношение между углеродом и азотом в пределах 20:1.

Истирание же целлюлозосодержащих компонентов субстрата позволяет корректировать его по углероду и снижать ингибирующее воздействие азота.

Термостатирование процесса брожения осуществляют за счет температуры теплообогревателей 27, размещённых в стенках корпуса устройства, что позволяет добиться оптимальных условий для воспроизводства активных метановырабатывающих бактерий. При вращении вала 9, оснащённого перемешивающими лопастями 11, приводом 10, происходит разрушение сухой корки на поверхности субстрата и перемешивание осадка в коническом корпусе 1. В осадительной камере 21 происходит отделение газовых пузырьков от взвесей, которые после отделения осаждаются и выводятся через разгрузочное устройство 8. Биометан из газовой полости 12 отводят по

патрубку 28 потребителю. Осветленная составляющая послеброжевого остатка отводится из камеры 21 по трубке 23 через гидравлический затвор 24. Наличие осадительной камеры 21 снижает до минимума потери целлюлозосодержащих компонентов субстрата при выгрузке, а отвод жидкой составляющей через гидравлический затвор с сифоном исключает бесконтрольное опорожнение гидравлического затвора и контролирует степень заполнения корпуса 1 субстратом.

Выработка биометана и биологического удобрения, которым является твердая составляющая послеброжевого остатка, отводится через устройство 8, причём наклонная нижняя поверхность конического корпуса способствует лучшему удалению твёрдого остатка, что делает работу устройства более производительной.

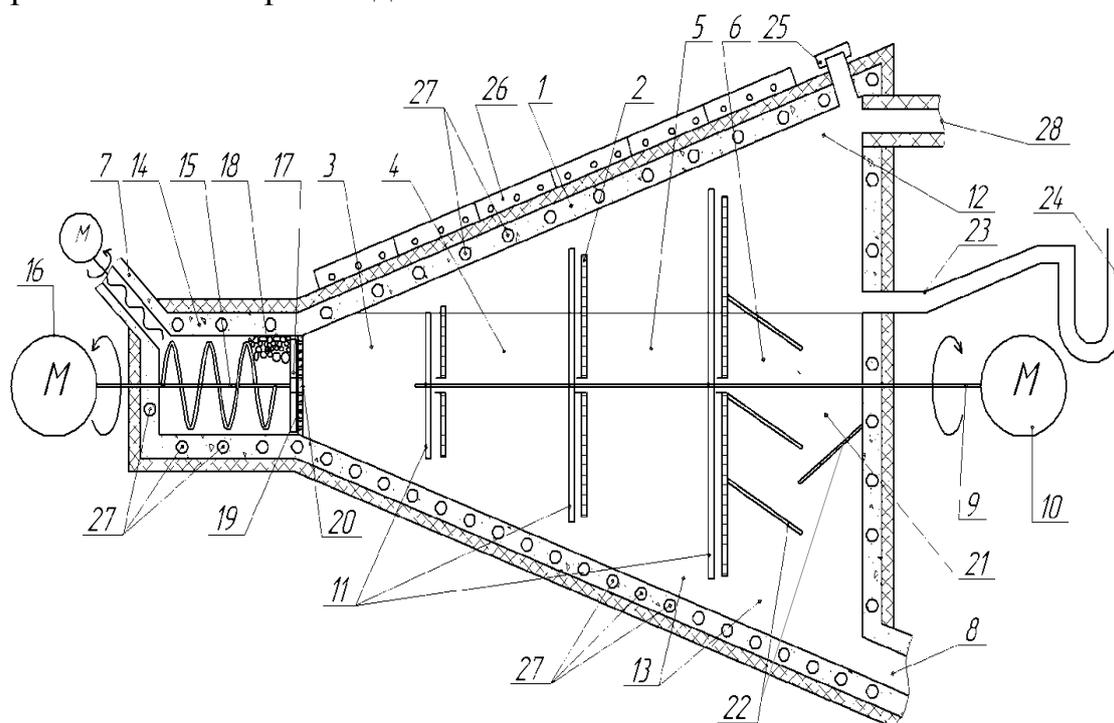


Рис. 1. Устройство утилизации отходов животноводства

Литература

1. Янко В. Г. Янко Ю. Г. Обработка сточных вод и осадка в метантенках. – Киев, 1978. – С. 120.
2. Виестур У. Э. Кузнецов А. И. Савенков В. В. Система ферментации. – Рига, 1986. – С. 174.
3. Патент РФ RU 2080371 МПК⁶ C12M1/107, Тумченко В.И.

Численное моделирование закрученного течения газа в вихревой трубе в постановке k- ω модели турбулентности

Как в повседневной жизни, так и в промышленности ежедневно возникает необходимость получения низких температур. В настоящее время существуют различные способы выполнения задачи охлаждения:

- фазовые превращения, сопровождающиеся поглощением тепла (плавление, парообразование, растворение соли);
- расширение сжатого газа с отдачей внешней работы;
- расширение газа путем дросселирования (эффект Джоуля-Томсона);
- пропускание электрического тока через спай двух металлов или полупроводников (эффект Пельтье);
- размагничивание твердого тела (магнитно-калорический эффект);
- десорбция газов;
- вихревой эффект охлаждения.

Наиболее распространенным решением в области получения холода является применение парокомпрессионных машин. Однако к их недостаткам можно отнести необходимость использования хладагентов (фреон, аммиак), вредных как для здоровья человека, так и для окружающей среды, а также дороговизну покупки и обслуживания оборудования и недостаточно высокую для некоторых случаев скорость выхода на требуемый температурный режим.

В качестве альтернативы вышеуказанному способу холодопроизводства является применение установок на основе вихревой трубы Ранка-Хилша. Последняя представляет собой устройство, позволяющее разделить закрученный поток газа на две фракции: горячую – на периферии, холодную – в приосевой области. К достоинствам хладагенераторов подобного рода относятся: отсутствие необходимости в хладагентах, экологичность, малая стоимость производства, простота эксплуатации и ремонта, надежность.

К настоящему времени сформулированы несколько гипотез, объясняющих природу процесса энергоразделения, происходящего в вихревой камере трубы Ранка-Хилша. Отсутствие единой теории является следствием сложности движения потока в вихревой трубе, а также

наличием значительных турбулентных пульсаций. Литературный анализ теоретических исследований показывает, что наибольшее распространение получила гипотеза взаимодействия вихрей, предложенная А.П. Меркуловым [1]. В соответствии с ней процесс энергоразделения является результатом взаимодействия двух вихрей, перемещающихся навстречу друг другу: периферийного, вращающегося по закону потенциального вихря, и приосевого, вращающегося по закону квазитвердого тела. Определяющая роль в переносе энергии от осевых слоев к периферийным отводится турбулентным пульсациям.

В данной работе рассматриваются результаты численного моделирования закрученного течения газа в цилиндрической вихревой трубе при использовании $k-\omega$ модели турбулентности.

Геометрия исследуемой вихревой трубы представлена на рисунке 1. Количество ячеек расчетной сетки составило 360000. В качестве граничных условий для рассматриваемого варианта были выбраны следующие: на входе – полное давление 5 ата, температура торможения 25°C; на выходах – статическое давление 1 ата.



Рис. 1. Геометрия исследуемой вихревой трубы

Численное моделирование проведено в программном пакете Star-CCM+ v.8.02.011. Итерационный процесс управлялся решателем Coupled flow solver. В качестве критерия сходимости использована стабилизация

уровня среднеквадратичных невязок по всем уравнениям математической модели и интегральных характеристик течения на проницаемых границах расчетной области.

Сравнение результатов численных экспериментов для выбранных моделей турбулентности с результатами натурального эксперимента (табл.1) позволяет сделать следующие выводы:

1) при использовании k- ω модели турбулентности замечена большая интенсивность эффекта энергоразделения (рис.2);

2) температура холодного потока, полученная для k- ω модели, близка к экспериментальному значению;

3) положение области максимальных пульсаций скорости в поперечном сечении вихревой трубы, обнаруженное в ходе расчетов по k- ω модели (рис.3), соответствует условной зоне смешения между вынужденным и свободным вихрями, что согласуется с гипотезой А.П. Меркулова.

Таблица 1

Сводная таблица результатов численного моделирования

	k- ω модель турбулентности	Натурный эксперимент
μ	0,22	0,23
$T_{нач}, ^\circ C$	25	25
$T_{хол}, ^\circ C$	8	4
$T_{гор}, ^\circ C$	29,6	20
$\Delta T, ^\circ C$	21,6	16
$\Delta T_{хол}, ^\circ C$	17	21
$\Delta T_{гор}, ^\circ C$	4,6	-5

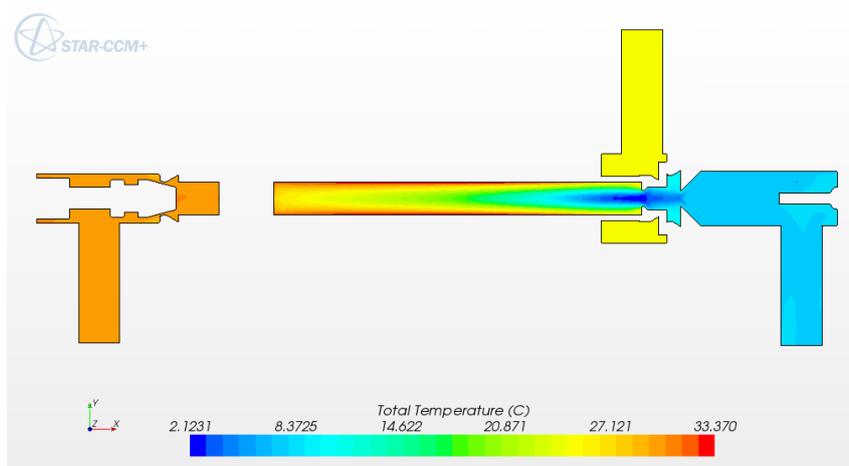


Рис. 2. Поле полной температуры в продольном сечении вихревой трубы

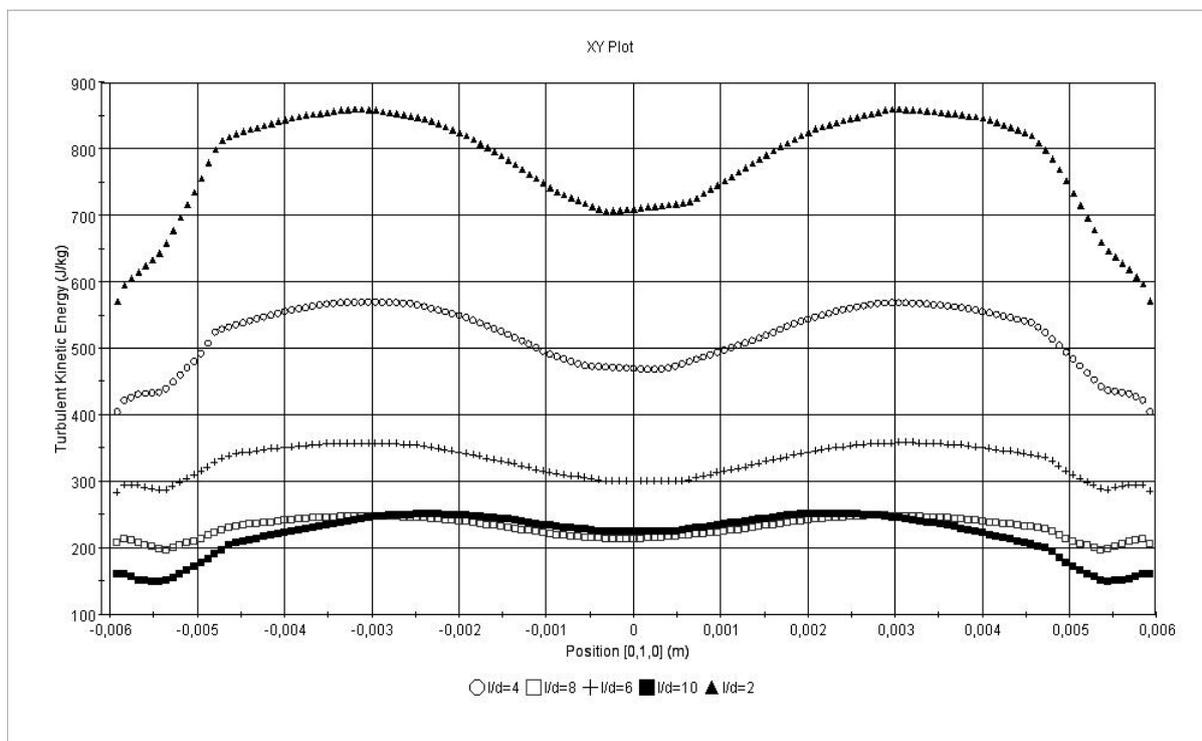


Рис. 3. Эпюры радиального распределения турбулентной кинетической энергии при использовании $k-\omega$ модели турбулентности на разном расстоянии от устройства закрутки в калибрах

Литература

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. – М.: Машиностроение, 1969. – 184 с.

Заболотская Н.Н.,
канд. мед. наук, доцент,
Муратова З.М.,
ст. преподаватель

Идентификация опасностей в электроэнергетике

Современный этап экономического развития России характеризуется сокращением абсолютной численности занятых в материальном производстве, повышением занятости в отраслях сферы обслуживания, перераспределением работников между отраслями. Вместе с тем, при сокращении численности работников в химической промышленности,

машиностроении, металлообрабатывающей, легкой и других отраслях экономики отмечено ее увеличение в таких отраслях, как энергетика. Увеличение численности работающих, главным образом, в добывающих отраслях обусловлено интенсификацией производства, увеличением объема продукции. Однако это происходит в большинстве случаев на основе устаревших технологий и оборудования, при сокращении финансирования мероприятий по улучшению условий труда, обеспечения работающих средствами индивидуальной защиты, что создает условия повышенной опасности для здоровья работающих.

Идентификация опасностей и оценка факторов риска имеет огромное значение в прогнозировании и предотвращении последствий чрезвычайных ситуаций на производстве.

Электроэнергетика является отраслью с высокой степенью технологических рисков, обусловленных спецификой производства и передачи продукции потребителям. В области охраны труда для работодателя существует значительно больше рисков (как по количеству, так и по объему финансовых обязательств), нежели в сфере оплаты труда. То есть это одна из самых рискованных зон для работодателя. По данным Росстата, 27,5% рабочих мест в России квалифицируются как места, находящиеся во вредных и опасных условиях труда, тогда как в энергетике этот показатель достигает 32,9%. Удельный вес рабочих мест, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам, по техническому состоянию средств труда, организации рабочего места в электроэнергетике выше, чем в среднем по стране. В то же время инвестиции в охрану труда в расчете на одного работника на предприятиях электроэнергетики составляют от 7 тысяч рублей до 20 тысяч рублей в отличие от предприятий России в целом, где этот показатель не превышает 5,4 тысяч рублей [2].

Неудовлетворительное состояние условий труда, длительное воздействие вредных производственных факторов на организм работающих являются основной причиной формирования у работников отрасли профессиональной патологии, травматизма, несчастных случаев.

Исходя из этого, основной целью нашего исследования явилось проведение идентификации существующих опасностей и факторов риска в электроэнергетике.

Одним из важных источников риска являются физические факторы воздействия, которые могут явиться причиной развития целой группы профессиональных заболеваний. К факторам риска физических причин опасностей в энергетике относятся вибро-акустические воздействия,

тепловое излучение, электромагнитные и другие излучения и поля, оборудование, работающее под давлением в котельных и на электростанциях.

Второй не менее значимый источник риска – это воздействие химических факторов, таких как промышленные аэрозоли, содержащие кремний, оксид углерод, диоксид серы, свинец и его соединения, газообразный хлор, сажу, цементную пыль. В эту группу следует включить воздействие органических растворителей.

Физические и химические факторы воздействия являются параметрами гигиены рабочей среды. Этот источник риска помимо перечисленных факторов можно дополнить аномальным микроклиматом и нерациональным освещением.

В процессе трудовой деятельности работники энергетических предприятий подвергаются воздействию биологических факторов: болезнетворных бактерий и вирусов, смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), которые способны вызвать нарушения иммунитета, аллергию и даже онкологические заболевания.

Работники энергетической отрасли испытывают на себе воздействие таких негативных факторов, как тяжесть и напряженность труда. Тяжесть работы определяется величиной физических усилий, статической нагрузкой, напряженной рабочей позой. Напряженность труда связана с психоэмоциональными нагрузками и определяется такими факторами риска как неправильный режим труда и отдыха, персональная ответственность, монотонность труда, продолжительное сосредоточение внимания в течение рабочей смены. В последние десятилетия особую значимость среди источников риска приобретают быстроразвивающиеся информационные технологии, создающие финансовые риски, связанные с промышленным шпионажем, финансовым мошенничеством, разглашением информации, спамом, ошибками в программном обеспечении.

Судя по итогам аттестации рабочих мест по условиям труда, в электроэнергетике порой создаются новые рабочие места, которые не соответствуют установленным требованиям в силу наличия в отрасли объектов повышенной опасности, электрооборудования, что формирует «опасность работы» как источник риска. К сожалению, указанные факторы риска имеют место даже при конкурентном преимуществе электроэнергетики по уровню инвестиций в охрану труда [1, с.27].

В электроэнергетике, как в любой отрасли производства, имеет место такой источник риска как виктимность работника (от лат. *victima* – жертва, комплекс жертвы, роль жертвы, т.е. склонность работника к поведению,

повышающему риск внешних воздействий). Виктимность работника зависит от качества профотбора с учетом психотипа человека, от качества медицинских осмотров, уровня обучения технике безопасности, использования средств индивидуальной защиты, соблюдения инструкций по ТБ.

Таким образом, работа на предприятиях энергетической отрасли сопряжена с комплексом опасных и вредных производственных факторов, способных вызвать профессиональные заболевания, травматические повреждения, несчастные случаи с летальным исходом. Основными обстоятельствами и условиями возникновения чрезвычайных ситуаций у работников электроэнергетики являются несовершенство технологических процессов, конструктивные недостатки средств труда, несоответствие рабочих мест санитарно-гигиеническим требованиям, неприменение средств индивидуальной защиты и их несовершенство.

Анализ источников и факторов риска позволяет рационально организовать и планировать рабочий процесс, идентифицировать опасности, оценить риски с целью разработки рекомендаций по уменьшению риска нестандартных ситуаций в энергетической отрасли.

Литература

1. Анализ причин несчастных случаев на энергоустановках с 1 января 2001 по 1 мая 2005 года (по статистическим данным) / Н.П. Дорофеев, В.Л. Титов, Б.М. Степанов // Энергобезопасность в документах и фактах. – 2005. – № 3. – С. 25-29.
2. Аналитический доклад объединения РаЭл. – <http://www.rael.elektra.ru>.

Сарапулова Ю.В.,
ассистент

Исследование процесса теплопереноса при жарке во фритюре

Применение особого вида термической обработки – обжаривания во фритюре – является основной особенностью производства мучных национальных изделий. Данный процесс является наиболее важным и трудоемким.

При обжарке во фритюре горячий жир, являясь ограничителем температуры, создает хорошие условия для теплопередачи и обеспечивает равномерное образование румяной корочки на поверхности продукта. Использование горячего жира значительно сокращает сроки обжарки, снижает расход тепла на единицу массы готового продукта по сравнению с обжаркой основным способом.

Однако этот способ имеет недостатки: быстрая порча применяемого жира и, как следствие, большие его потери, малая производительность [1, с.5]. Быстрая порча жира происходит из-за высокой температуры на поверхности нагревателей (ТЭНов).

Воздействие фритюрного жира на обжариваемые заготовки изучено недостаточно. Обжаривание мучных изделий во фритюре сопровождается сложными теплофизическими и физико-химическими процессами [2, с. 265]. Важным фактором, обуславливающим изменение свойств фритюрного жира при обжарке, является его температура, следовательно, для более глубокого изучения технологического процесса приготовления мучных национальных изделий необходимо исследовать распределение температурных полей во фритюрном масле при обжарке.

Был проведен ряд экспериментов во фритюрнице (рисунок 1) на предприятии ЗАО «Челны-Хлеб».

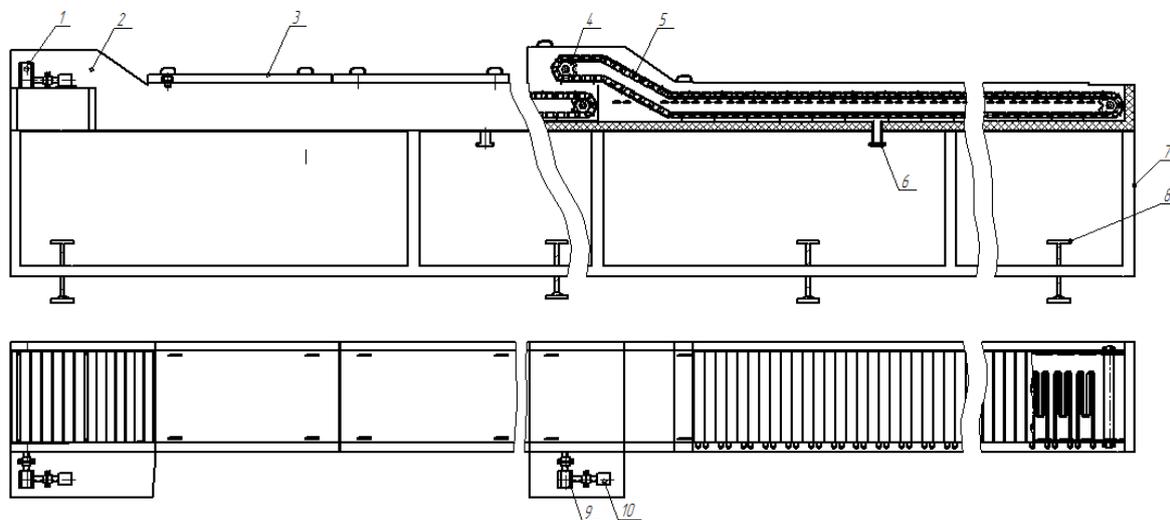


Рис. 1. Фритюрница TROMP:

1 – привод, 2 – корпус, 3 – крышка, 4 – звездочка, 5 – цепь пластинчатая, 6 – штуцер для слива масла, 7 – рама, 8 – ТЭН, 9 – редуктор, 10 электродвигатель

Далее был произведен расчет коэффициентов теплоотдачи от ТЭНов к фритюрному жиру и от фритюрного жира к тестовым заготовкам [3, с.67].

Коэффициент теплоотдачи от масла к тестовым заготовкам в I зоне фритюрницы в среднем составляет $240 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, однако при приготовлении изделия калеве этот коэффициент достигает $280 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Это объясняется тем, что заготовки имеют меньший размер, и теплоотдача повышается. Коэффициент теплоотдачи α при обжарке чак-чак во II зоне в первые минуты нахождения заготовок в этой зоне равен $255 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, далее уменьшается, т.к. на заготовках образуется корочка, которая препятствует проникновению теплоты в продукт.

Коэффициент теплоотдачи от ТЭНов к маслу, в I зоне фритюрницы в среднем равен $330 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, однако при приготовлении калеве в этой зоне этот коэффициент достигает $360 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Это объясняется тем, что в этом случае увеличивается температура выставления ТЭНов, и увеличивается скорость конвейера. Коэффициент теплоотдачи α от ТЭНов к маслу во II зоне равен $380\text{-}390 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, что значительно больше α в I зоне, т.к. во II зоне требуется более высокая температура масла.

В результате обработки экспериментальных данных мы установили:

- характер нагрева фритюрного жира и изменения его температуры при обжарке в нем различных видов мучных изделий;
- коэффициент теплоотдачи от ТЭНов к маслу, при нагреве масла и при обжарке в нем различных видов мучных изделий для каждой из зон фритюрницы по различным формулам;
- коэффициент теплоотдачи от масла к заготовкам, в различных зонах фритюрницы для каждого вида выпускаемых изделий отдельно по различным формулам.

В итоге проделанная нами работа поможет при моделировании тепловых процессов для разработки новой конструкции аппаратов для жарки во фритюре, а также ляжет в основу дальнейших работ по получению уравнения подобия для данного процесса, т.к. в настоящее время велика потребность таких исследований для пищевой промышленности.

Литература

1. Доржийн Цэцгээ. Научные основы технологии мучных изделий, обжаренных во фритюре: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2007.– 250 с.
2. Тепломассообмен: учеб. пособие для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 420-428,515 с.

3. Савина Н.Я. Исследование процессов высокотемпературной обработки некоторых пищевых продуктов в масле: дисс. ... канд. техн. наук. – Одесса, 1965. – 282 с.

СЕКЦИЯ «ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

Маврин Г.В.,

канд. хим. наук, доцент

Харлямов Д.А.,

ст. преподаватель

Лаборатория техносферной и экологической безопасности урбанизированных территорий и производственных систем

Камский инновационный территориально-производственный кластер (КИТПК) размещается на территории с промышленными городами Набережные Челны, Нижнекамск, Елабуга, Менделеевск, где сосредоточена существенная часть промышленного потенциала Республики Татарстан. Наиболее развитыми отраслями здесь являются энергетика, машиностроение, нефтехимия, транспорт, а также пищевая промышленность. Высокая концентрация различных предприятий и транспортной инфраструктуры приводит к заметному антропогенному воздействию на окружающую среду. Несмотря на наличие ряда особо охраняемых природных территорий и лесопарковых зон, Камский экономический район (КЭР) явно испытывает потребность в умножении и развитии рекреационных объектов. А государственный контроль и экологический мониторинг разного уровня, включая производственный, не обеспечивают общественность и соответствующие структуры достаточной информацией о фактическом состоянии объектов наблюдения и уровне воздействия на них загрязнителей окружающей среды. В таких условиях принятие правильных управленческих решений в природоохранной области становится проблематичным и делает необходимость поиска и обработки большого массива достоверных, а также непроверенных данных из различных источников.

Ужесточение требований к государственной аккредитации аналитических лабораторий, увеличение сложности в работах по использованию современных импортных средств измерения и повышение требований к квалификации операторов, а также необходимость лицензирования определенных видов деятельности в природоохранной сфере суживают рынок предложений по оказанию профессиональных услуг по количественному определению множества показателей качества объектов окружающей среды.

Кроме того, имеет место потребность в аналитических исследованиях в объемах, выходящих за рамки заложенных в нормативные документы программ природоохранного плана по контролю и обследованию территорий, предприятий и объектов окружающей среды.

Принимая во внимание данные обстоятельства и вероятные объемы перспективных услуг по аналитическим замерам, было принято решение о создании оснащенной новыми средствами измерения, вспомогательным и испытательным оборудованием аналитической лаборатории – лаборатории техносферной и экологической безопасности урбанизированных территорий и производственных систем (лаборатория ТЭБ) на площадях инжинирингового центра Казанского федерального университета в г. Набережные Челны.

При закупке оборудования для лаборатории ТЭБ имели в виду:

- 1) природные и техногенные объекты, подлежащие обследованию;
- 2) объемы эмиссии и перечень загрязняющих веществ (ЗВ) в составе выбросов, сбросов и отходов на территории КЭР;
- 3) уровень загрязненности атмосферного воздуха, поверхностных вод и почвенного покрова;
- 4) отраслевую специфику местной промышленности;
- 5) транспортную инфраструктуру;
- 6) программу развития КЭР;
- 7) программу развития КИТПК;
- 8) программы локального мониторинга;
- 9) потребности предприятий и организаций в аналитических работах;
- 10) научный потенциал и материально-техническую базу кафедры химии и экологии Набережночелнинского института КФУ;
- 11) накопленный опыт по мониторинговым работам, проводимым кафедрой химии и экологии;
- 12) реестры средств измерения и методик выполнения измерений, допущенных к применению в Российской Федерации.

К приобретаемому оборудованию предъявили требования: 1) наличие аттестованной методики выполнения измерения (МВИ), отвечающей определенному средству измерения; 2) соответствие метрологическим показателям соответствующих МВИ, включая значения нижнего предела определяемого показателя; 3) разумное соотношение цена-качество;

4) наличие сведений по применению подобного оборудования в других лабораториях; 5) возможность поддержания в работоспособном состоянии в течение длительного времени; 6) возможность проведения поверки в установленные сроки; 7) доступность комплектующих и запасных частей и блоков; 8) неосложненные процедуры пробоотбора, пробоподготовки и измерения аналитического сигнала; 9) наличие или возможность приобретения отвечающих МВИ «комплектов»: «средства пробоотбора – средства пробоподготовки – средство измерения»; 10) взаимозаменяемость средств измерения в случае неисправности отдельных приборов.

Работники лаборатории должны: 1) иметь высшее образование (специальности «Химия», «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», направление подготовки «Техносферная безопасность»); 2) иметь определенный опыт выполнения работ по отбору проб объектов окружающей среды, отходов, материалов и продукции; по пробоподготовке (переводу пробы в аналитически активную форму), включая концентрирование; по измерению величины аналитического сигнала; по математической обработке результатов измерения; 3) соблюдать метрологические требования при проведении всех этапов количественного химического анализа (КХА); 4) знать нормативно-техническую документацию в области техносферной и экологической безопасности (на предприятии), природоохранной деятельности, метрологии, законодательства в области защиты окружающей среды; 5) знать основную номенклатуру средств измерения, вспомогательного и испытательного оборудования; 6) иметь минимальные базовые знания и умения в области IT-технологий; 7) уметь вести соответствующую документацию, оформлять протоколы, отчеты, готовить презентации, писать статьи в профессиональной области, выступать с докладами и презентациями, заниматься самообразованием, повышать свою квалификацию; 8) уметь работать с англоязычной литературой.

Методы анализа в новой лаборатории: электронная спектрофотометрия, фотоионизационная спектроскопия, ИК-спектроскопия, атомно-эмиссионная спектроскопия, атомно-абсорбционная спектроскопия, лазерная спектроскопия, газовая и газожидкостная хроматография (также с фотоионизационным детектором), ионная хроматография, высокоэффективная жидкостная хроматография, потенциометрия (включая ионометрию), инверсионная вольтамперометрия, амперометрия, кондуктометрия, титриметрия, гравиметрия.

В состав лаборатории ТЭБ включили следующие подчиненные лаборатории: 1) лаборатория физико-химических методов анализа природных и сточных вод (спектрофотометры, электрохимические средства измерения; системы отбора проб); 2) лаборатория анализа нефтепродуктов (анализаторы-концентратомеры типа АН-2, КН-3); 3) лаборатория хроматографии (ИХ «Стайер», ВЭЖХ изотактический «Стайер», Кристалл 5000, ФГХ-1); системы отбора проб; 4) лаборатория атомной спектроскопии (ААС «КВАНТ.Z», АЭС «Agilent»), лаборатория пробоподготовки (отечественные и импортные микроволновые системы пробоподготовки, хроматографические колонки, сорбенты, экстракторы, встряхиватели, шаровые мельницы, сушильные шкафы и муфельные печи, системы подготовки и очистки вод и т.д.); 5) лаборатория почв (от лазерного анализатора сыпучих материалов до пробоотборника почв и грунтов); 6) лаборатория анализа промышленных выбросов и атмосферного воздуха (газоанализаторы типа «Элан», «Полар», «КОЛИОН», «ДАГ», лазерный анализатор взвешенных частиц в атмосферном воздухе; аспираторы и автоматические четырехканальные пробоотборники воздуха и прочее); 7) лаборатория физических факторов рабочей среды (шумомеры, определители освещенности, электромагнитных излучений и полей и т.д.); 8) лаборатория биотестирования (климатостаты, воздушные термостаты, микроскопы и т.д.); 9) весовая (аналитические и электронные весы, определитель влажности образцов); 10) лаборатория моделирования и расчетов (персональные компьютеры и программное обеспечение).

Основные направления деятельности лаборатории:

- учебный процесс (использование как базы практик для подготовки бакалавров и магистров по направлению «Техносферная безопасность», для аспирантов – по научной специальности «Экология»; выполнение студентами выпускных квалификационных работ, курсовых работ и проектов; проведение мастер-классов, в том числе с приглашением специалистов сторонних вузов, организаций и предприятий);

- научно-исследовательская работа (диссертационные исследования, инициативные научные проекты, исследования в рамках грантов, конкурсов);

- работы по заказам предприятий и организаций (хоздоговорная тематика – выполнение заказов по КХА, по разработке систем очистки выбросов и сбросов, переработке отходов и т.д.);

- повышение квалификации работников предприятий по природоохранной тематике и техносферной безопасности, переподготовка кадров по специализированным программам.

Возможности лабораторий будут использованы при реализации следующих проектов: 1) организация производства по переработке твердых бытовых отходов; 2) строительство завода по химической конверсии иловых осадков илового полигона; 3) создание комплекса по переработке легких и тяжелых нефтешламов; 4) низкотемпературный пиролиз отходов переработки целлюлозы; 5) газоразрядное обезвреживание отработанных газов дизельных двигателей; 6) эффективная система очистки сточных вод машиностроительного производства с применением мембранных технологий; 7) очистка и концентрирование сточных и природных вод магнитными сорбентами с целью удаления тяжелых металлов и мышьяка; 8) обезвреживание СОЖ-содержащих сточных вод с использованием биоактивных препаратов; 9) разработка рекомендаций по организации дорожного движения на основании экологического мониторинга.

Мифтахов М.Н.,

канд. хим. наук, доцент

О возможности переработки скопа – отхода Набережночелнинского КБК

В Российской Федерации большинство отходов целлюлозно-бумажной промышленности в настоящее время вывозится в отвалы. В свою очередь такие отходы как макулатурное вторичное сырье, скоп и другие материалы могут использоваться для производства высококачественных изделий строительного назначения, но отсутствие эффективных производств и технологий, способных переработать вторичное сырье, являются главными причинами сложившейся ситуации по использованию позиционированных отходов целлюлозно-бумажных комбинатов. Вывоз в отвалы таких материалов связан со значительными финансовыми затратами. Кроме того, ухудшается экологическая обстановка городов и окрестностей. В связи с вышеизложенным проблема обращения с отходами скопа в настоящее время приобретает особую актуальность.

Отходы скопа на Набережночелнинском КБК собираются, подвергаются максимально возможному обезвоживанию на ленточном прессе или на вакуум-фильтре и в дальнейшем вывозятся в шламонакопитель емкостью порядка 325000 м³, ежегодно около 38000т. Площадь шламонакопителя составляет около 7,3 га.

Скоп представляет собой волокнистый осадок сточных вод бумажного производства, оседающий на фильтрах очистных сооружений. Основную массу скопа составляют целлюлозные волокна со значительной долей неорганических (глины) и органических примесей.

В скопе, как правило, содержится около 50% волокнистой массы и 50% каолина. До настоящего времени скоп практически не используется, вывоз его в отвалы требует значительных затрат. Отвалы занимают большие площади, зачастую пригодные для земледелия, загрязняют и прилегающие участки химически агрессивными стоками [1].

Осадок сточных вод содержит неорганические наполнители и волокнистую мелочь, которые составляют 90% всех отходов предприятия.

Известно, что общее количество потерь при переработке макулатуры составляет 15-17%, из них около 5% (крупные отходы: проволока, металлические предметы, камни, резина и т.д.) из гидроразбивателей вывозится в отвал, а остальное (скоп — мелкое волокно) может и должно быть использовано [2].

С целью изучения вопроса дальнейшего возможного использования скопа Набережночелнинского КБК, нами были проведены исследования некоторых его свойств (пробы отобраны в сентябре 2014г. в шламонакопителе):

- 1) определение компонентного состава;
- 2) определение влажности (содержания воды);
- 3) определение органической и неорганической (по зольности) частей;
- 4) исследование токсичности скопа методом биотестирования.

1. Компонентный состав скопа КБК

При визуальном анализе проб состав скопа: комкообразные волокна бумаги, полиэтилен и прочие включения.

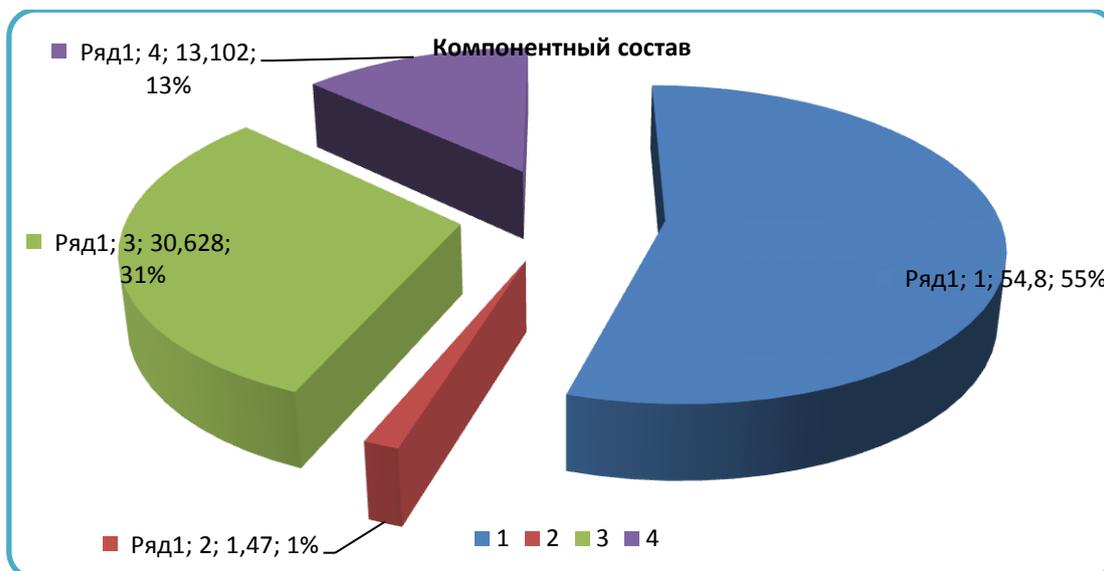


Рис. 1. компонентный состав скопа

- 1-вода
- 2-полиэтилен
- 3-бумага
- 4- механические примеси

Влажность определяли по методике [3].

Как видно из диаграммы (рис.1), компонентный состав скопа Набережночелнинского КБК немного (заметно) отличается от вышеприведенных литературных данных, что связано, вероятно, с использованием в качестве основного сырья макулатуры.

Для изучения теплотворной способности скопа и его дальнейшего возможного использования в качестве сырья для производства газообразных и жидких топлив были определены его органическая и неорганическая составляющие, полученные данные представлены на рис.2.



- 1- Органика
- 2- Неорганика

Рис. 2. Содержание органической и неорганической составляющей скопа

Из диаграммы видно, что на органическую часть скопа приходится 70%, а на неорганическую – 30%.

Соответственно в органической части содержание углерода составило 12% . Из неорганической части на металлы приходится чуть больше 13% (кальций, алюминий, железо, магний, марганец, цинк) (таблица 1).

Таблица 1

Содержание металлов в неорганической части скопа

Магний	0,326
Алюминий	1,987
Железо	0,585
Марганец	0,010
Цинк	0,005
Кальций	10,189

При определении токсичности скопа методом биотестирования был установлен V класс опасности.

Таким образом, исходя из полученных данных, можно с определенной уверенностью обозначить основные направления переработки данного вида отхода КБК:

1. Использование скопа для производства товаров народного потребления (в настоящее время часть скопа используется для производства упаковки и тары, например, в производстве бугорчатых прокладок и т.п.).

2. Использование для производства конструкционно-теплоизоляционных материалов [4].

3. Использование скопа как пористообразующего компонента в производстве керамических строительных материалов (керамические кирпичи, керамзит и т.д.) [5].

4. Использование в качестве сырья в пиролизных процессах с целью получения газового и(или) жидкого топлива [6].

Литература

1. Анализ технологических аспектов образования отходов на предприятиях / О.Н. Курило [и др.]. – Вестник ПНИПУ. Урбанистика. – Пермь, 2013. – С. 97-107.

2. Очистка и рекуперация промышленных выбросов / В.Ф. Максимов [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1981 – 640 с.

3. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности.
4. Козлов И.А. Новые конструкционно-теплоизоляционные материалы на основе скопа – отхода целлюлозно-бумажной промышленности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2008.
5. <file://localhost/УДК%20В%20керамич%20блоки%20добавка%20%20скопа.mht>
6. Техничко-экономические основы переработки целлюлозо-содержащих отходов производства пищевых и кормовых добавок / Ю.Н. Шаповалов, Е.В. Складнев, М.Ю. Балабанова // Экология и промышленность России. – 2014 сент. – С. 20-23.

Смирнова Н.Н.,
канд. биол. наук, доцент
Гатауллина А.И.,
студентка НЧИ КФУ

Разработка мероприятий по повышению инфекционной и экологической безопасности воздуха в детских лечебных учреждениях г. Набережные Челны

Одной из актуальных экологических и медицинских проблем современности является загрязнение атмосферного воздуха. Через легкие человека ежедневно проходят свыше 7 тысяч литров воздуха. Загрязнение вдыхаемого воздуха вызывает заболевания дыхательной и сердечно-сосудистой систем, снижает иммунитет. Особенно чувствительны к этому негативному фактору дети [1].

Цель данной работы: разработка мероприятий по повышению инфекционной и экологической безопасности воздуха в детских лечебных учреждениях.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определить уровень загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами и тяжелыми металлами на территориях детских лечебных учреждений г. Набережные Челны;
- исследовать показатели заболеваемости детей ОРЗ и их зависимость от загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами и тяжелыми металлами на территориях детских лечебных учреждений г. Набережные Челны;

– разработать рекомендации по снижению негативного влияния факторов окружающей среды на здоровье детей-дошкольников г. Набережные Челны.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Набережные Челны характеризуется как высокий. Основными загрязняющими веществами являются: фенол, формальдегид, оксид углерода и диоксид азота [2].

На предприятиях г. Набережные Челны действует более 5тыс стационарных источников выброса. Годовой выброс загрязняющих веществ от стационарных источников составляет 60,5 тыс. т. Ежегодные выбросы от автотранспорта составляют 15тыс.т. [2].

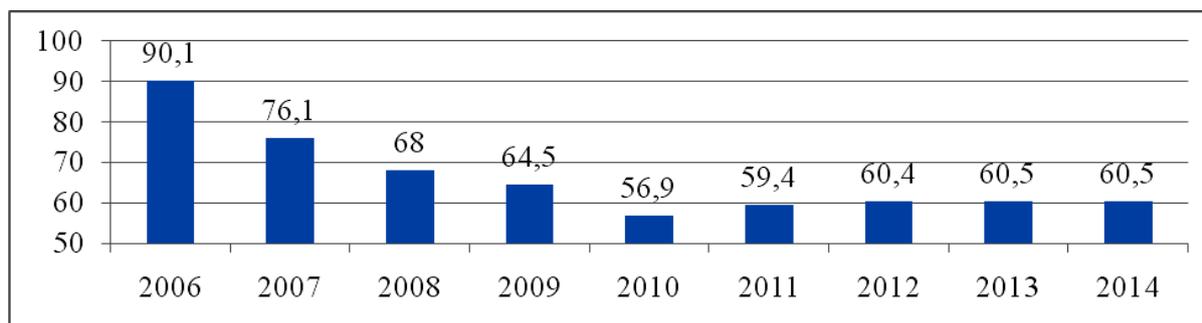


Рис. 1. Динамика уровня выбросов загрязняющих веществ на территории г. Набережные Челны за 2006-2014 гг

С целью выявления динамики заболеваемости детского населения в г. Набережные Челны был проведен анализ амбулаторных карт с ДПП № 2 общей численностью 18890 детей. В ходе исследований выявлено, что с 2001 по 2014 г. увеличилась заболеваемость детей, прикрепленных к поликлинике №2, аллергическими ринитами в 20 раз, бронхиальной астмой – в 10 раз, аллергическими дерматитами – в 2,5 раза (рис.1).

Рост заболеваемости аллергическими болезнями можно объяснить увеличением выбросов в атмосферу вредных веществ, которые начинают действовать на ребенка уже в утробе матери, когда на беременную женщину воздействуют неблагоприятные факторы окружающей среды.

Анализ состояния здоровья детей до 14 лет показал, что 74,2% детей относятся ко 2 группе здоровья, 13,2% – к 1группе. Число детей 3 группы снизилось в 2014 г. на 1,2% по сравнению с 2013 г.



Рис. 1. Тенденция заболевания детей, прикрепленных к поликлинике № 2

При анализе 1000 дородовых патронажей беременных с 2010 года было выявлено, что беременные, работающие на заводе ОАО "КамАЗ", родили детей, у которых проявляются аллергические реакции.

Анализ журналов вызовов на дом с 2005 по 2014 годы выявил тенденцию увеличения вызовов детей с диагнозами ОРВИ в летнее время, что свидетельствует о снижении иммунитета у детей, связанным с состоянием окружающей среды (рис.2).

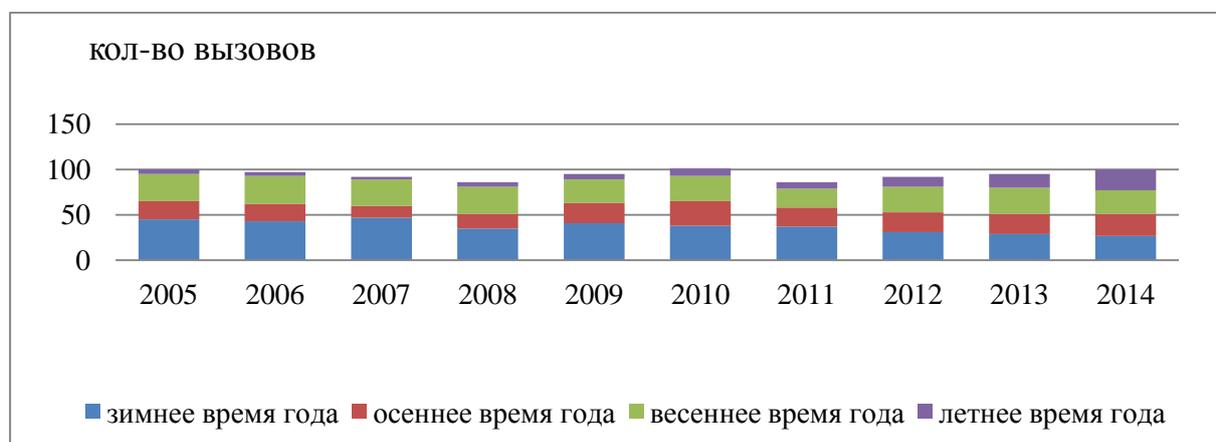


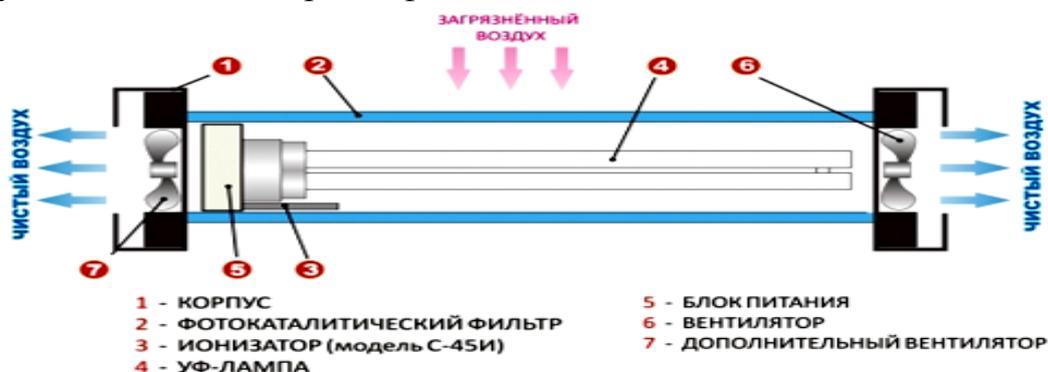
Рис. 2. Количество вызовов в летнее время к детям с диагнозом ОРВИ

Лечебно-профилактические учреждения, находящиеся внутри городской черты, подвергаются двойному воздействию вредных веществ и патогенных организмов.

Во-первых, воздух в больничные помещения поступает с тех же загазованных улиц. Во-вторых, в самих помещениях поликлиник и

больниц постоянно витают в воздухе неприятные запахи и болезнетворные микроорганизмы, выделяемые в воздух самими же больными.

С целью повышения качества атмосферного воздуха в здании ЛПУ и снижения уровня заболеваемости предлагается внедрить воздухоочиститель «Аэролайф С-45М».



К основным преимуществам бактерицидного рециркулятора воздуха «Аэролайф» можно отнести:

- универсальность. Один прибор очищает воздух от всех видов загрязнений: механических, аэрозольных, химических и микробиологических.

- Безопасность. Системы могут работать в помещении в присутствии людей неограниченное количество времени.

- Экологическая чистота (не вырабатывает озон и окислы).

Не содержит ртути и других токсичных веществ.

- Работа основана на принципе фотокатализа, при котором токсичные вещества не накапливаются на фильтре, а разрушаются до безвредных компонентов воздуха.

- Снижение до минимума расхода дезинфицирующих препаратов решает как экологические, так и медицинские проблемы.

- Внедрение бактерицидного рециркулятора «Аэролайф» позволит получить экономию средств по выплате финансов по больничным листам, снизить заболеваемость посетителей и сотрудников поликлиники во время эпидемий ОРВИ и гриппа.

Литература

1. «Анатомия и физиология человека с возрастными особенностями детского организма / М.Р. Сапин, В.И. Сивоглазов. – М.: Академия, 2013. – 384 С.

2. Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан: отчет федер. гос. бюджетного учреждения за 2011-2014 гг.

Фазуллин Д.Д.,

мл. науч. сотрудник,

Маврин Г.В.,

канд. хим. наук, доцент

Изменение размера частиц и дзета-потенциала дисперсной фазы эмульсии в процессе мембранного разделения

Отработанные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) представляют собой устойчивую эмульсию типа масло в воде, эмульгированные ПАВом, поэтому трудно подвергаются разложению. Наиболее популярные и эффективные методы разложения устойчивых эмульсий – коагуляция и кислотное разложение, но имеют недостатки в виде дополнительного загрязнения водной фазы эмульсии реагентами. В работе [1, с.3] были проведены экспериментальные работы по очистке водозэмульсионных сточных вод на основе мембранных методов. Для определения изменения коллоидных свойств эмульсии после каждой степени очистки проведены исследования по определению распределения размера частиц и дзета-потенциал эмульсии.

Исследования распределения размера частиц эмульсий проведены с помощью анализатора размера частиц и дзета-потенциал марки «NanoBrook Omni». Прибор анализирует фазовое рассеивание света, для определения подвижности заряженных коллоидных взвесей [2].

Поскольку необходимые для исследования характеристики исходных образцов отработанных эмульсий неизвестны, то в качестве последних взяты следующие параметры из имеющихся баз данных: растворитель – вода; вязкость – 0,89; угол рассеяния 90°. Далее система автоматически производит оптимизацию параметров и устанавливает значения температуры, начальной точки измерения. Прибор выдает результаты: среднеарифметический размер (радиус) частиц эмульсии (нм); индекс полидисперсности материала (измеряется автоматически и зависит от скорости оседания частиц во время проведения измерения), информацию по интенсивности распределения частиц эмульсий по размерам – диаметр

(нм), интенсивность (%), ширина пика (то есть его протяженность в нм), дзета-потенциал частиц, мобильность частиц.

Дзета-потенциал является мерой электростатического взаимодействия (отталкивания или притяжения) между частицами, а также одним из основных параметров, влияющих на стабильность дисперсных систем. Измерение дзета-потенциала позволяет глубже понять и лучше контролировать механизмы диспергирования, агрегации или флокуляции, и может применяться для улучшения свойств дисперсий, коллоидных растворов, эмульсий и суспензий на этапах разработки и производства [3].

Определены размер частиц и дзета-потенциал дисперсной фазы исходной 3% СОЖ Инкам-1, отработанной 3% СОЖ Инкам-1 и водоэмульсионной СВ, отобранных на заводах ОАО «КАМАЗ». Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Средние значения размера частиц и дзета-потенциала дисперсной фазы эмульсий

Эмульсия	Ср. размер частиц, нм	Кол-во пиков	Дзета-потенциал, мВ	Мобильность частиц, мВ
3% СОЖ Инкам-1	86,1	1	-53,3	-4,70
Отработанная 3% СОЖ Инкам-1	86,9	2	-22,7	-1,77
Водоэмульсионная СВ	669,2	2	-3,84	-0,30

Исходная эмульсия «Инкам-1» является монодисперсной, но отработанные СОЖ представляют собой полидисперсную систему. По результатам исследования размеров частиц следует, что в отработанной эмульсии по сравнению с исходной размеров частиц дисперсной фазы больше, что свидетельствует о разложении эмульсии. В водоэмульсионных сточных водах (ВЭСВ) средний размер частиц больше, чем у исходной СОЖ, в 7 раз, объясняется укрупнением частиц и присутствием в составе инородных веществ. Дзета-потенциал у всех исследованных эмульсий отрицательный. Как правило, с увеличением размера частиц дзета-потенциал между частицами уменьшается, чем меньше дзета-потенциал частиц, тем сильнее частицы слипаются, укрупняются друг с другом, происходит выпадение осадка. Данные о размере частиц и дзета-потенциал дают возможность подбора мембран, подбора коагулянта для процессов очистки СВ. Средний размер частиц эмульсии Инкам-1 по результатам

исследований 0,05-0,15 мкм, для удаления таких частиц подобрали мембрану ультрафильтрации с размером пор 0,015-0,05 мкм.

Проведена очистка отработанной эмульсии Инкам-1 по следующей схеме (рисунок 1). После каждой ступени очистки были определены размеры частиц и дзета-потенциал эмульсии. Очистка предполагает следующие основные стадии:

- 1) отделение свободных нефтепродуктов, взвешенных веществ на установке коалесцентной очистки;
- 2) сорбция растворенных нефтепродуктов на композиционном сорбенте;
- 3) концентрирование нефтепродуктов, ПАВ, жиров на ультрафильтрационном мембранном модуле;
- 4) удаление солей на нанофильтрационном мембранном модуле;
- 5) доочистка воды от ионов ТМ на ионообменных мембранах.

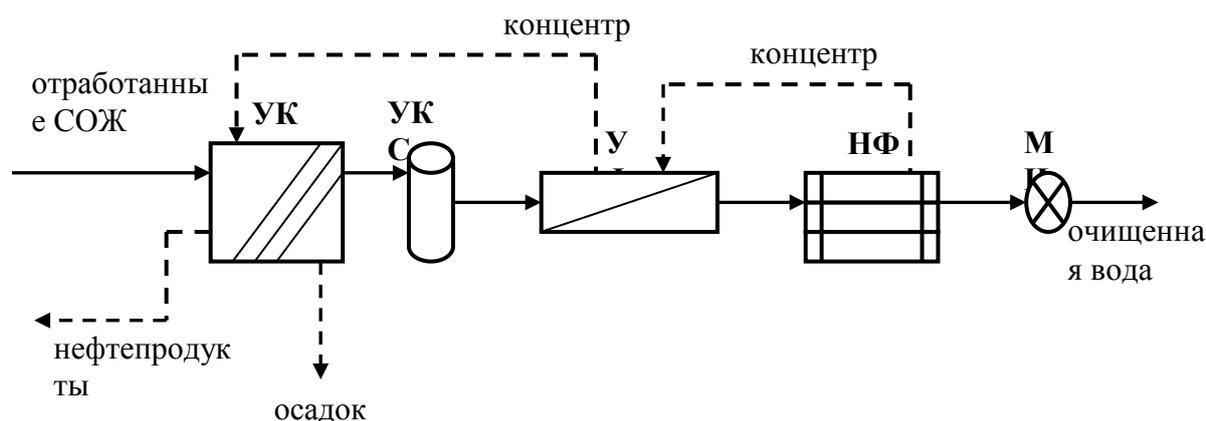


Рис. 1. Технологическая схема очистки водоземulsionных СВ.

УК – установка коалесцентной очистки; УКС – угольный композиционный сорбент;
УФ – ультрафильтрационный мембранный модуль; НФ – нанофильтрационный мембранный модуль; МИ – ионообменная мембрана

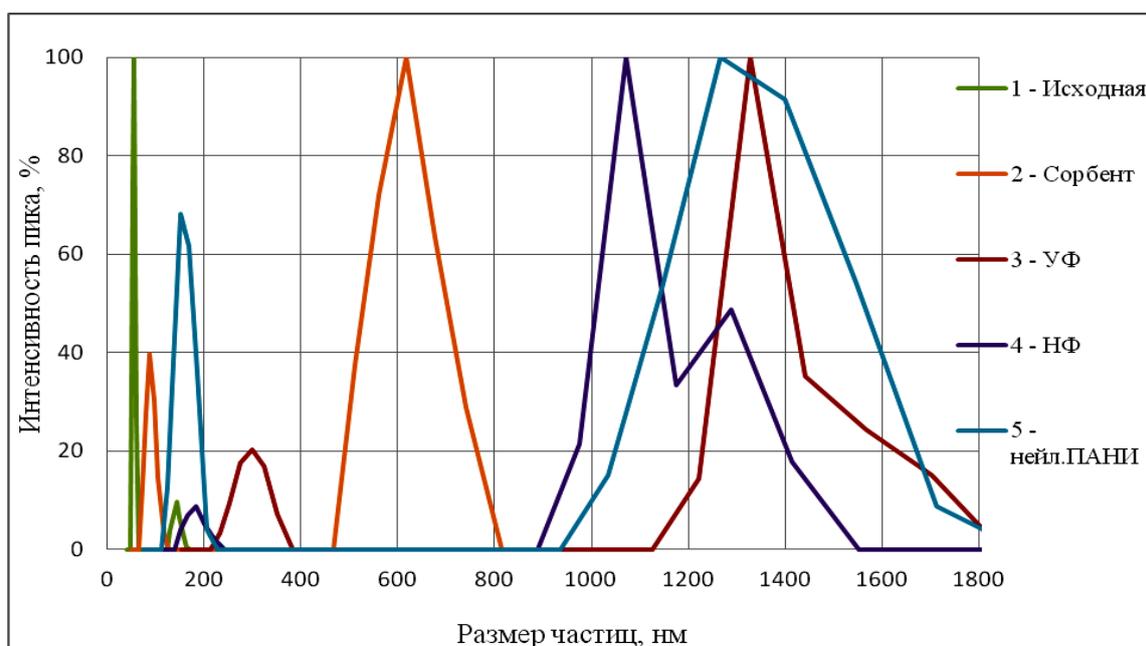


Рис. 2. Графики распределения размера частиц дисперсной фазы эмульсии:

1 – Исходная эмульсия Инкам-1; 2 – Эмульсия после сорбционной очистки;
 3 – Ультрафильтрат эмульсии; 4 – Нанофильтрат эмульсия; 5 – Фильтрат
 ионообменной мембраны нейлон-ПАНИ

Таблица 2

Коллоидные свойства и содержание нефтепродуктов в эмульсии

Этапы очистки	Размеры частиц (100%), нм	Размеры частиц, нм	Дзета потенциал, мВ	Мобильность, мВ	Концентрация Н/П, мг/дм ³
Исходная ВЭСВ (3% СОЖ Инкам-1)	56,39	144	-53,3	-4,7	10400
Установка коалесценции	55,1	137	-54,9	-4,9	5860
Сорбент УС-20	617	88	-31,9	-2,5	1614
УФ фильтрат	1326	299	-21,8	-1,7	92,5
НФ фильтрат	1070	184	-29,0	-2,3	0,06
Фильтрат ИМ нейлон-ПАНИ	1265	153	-14,2	-1,3	<0,05

Размер частиц дисперсной фазы эмульсии после коалесцентной очистки уменьшается, а дзета-потенциал и мобильность частиц отрицательный увеличивается. Связано с удалением свободных нефтепродуктов (крупных частиц масла) и стабилизацией эмульсии, сила отталкивания между частицами дисперсной фазы увеличивается. После сорбента и мембранных методов очистки происходит увеличение среднего

размера частиц и уменьшение дзета-потенциала, происходит из-за разрушения эмульсии, частицы мгновенного укрупняются вследствие потери заряда в процессе прохождения через поры мембран.

Выводы. Исходная эмульсия «Инкам-1» является монодисперсной, но в результате эксплуатации эмульсия теряет стабильность и превращаются в полидисперсную систему.

В результате удаления свободных НП коалесцентной очисткой размер частиц дисперсной фазы эмульсии уменьшается, а дзета-потенциал отрицательный увеличивается, происходит стабилизация эмульсии сила отталкивания между частицами дисперсной фазы увеличивается. После мембранных методов очистки происходит увеличение среднего размера частиц и уменьшение дзета-потенциал, из-за разрушения эмульсии, частицы мгновенного укрупняются вследствие потери заряда в процессе прохождения через поры мембран.

Для разложения эмульсии Инкам-1 выбрали мембрану ультрафильтрации с размером пор 0,015-0,05 мкм. Степень очистки по нефтепродуктам составил 94,3.

Литература

1. Технология очистки водоземulsionных сточных вод с доочисткой мембранными и сорбционными методами / Д.Д. Фазуллин, Г.В. Маврин // Технологии нефти и газа. – Москва. – 2014. – №4(93). – С. 3-8.

2. Particle Sizer and Zeta Potential Analyzer NanoBrook Omni. http://www.brookhaveninstruments.com/products/particle_sizing/NanoBrook-Omni.html. Дата обращения 15.11.2014.

3. Дзета-потенциал. <http://www.malvern.com/ru/products/measurement-type/zeta-potential/> . Дата обращения 15.11.2014.

Шарафутдинов Р.Н.,
канд. биол. наук, доцент

Проблемы диагностики и классификации почв урбанизированных территорий г. Набережные Челны

Особенность формирования почвенного покрова г. Набережные Челны связана с историей развития города-новостройки. Застраиваемые

земли приходились как на территории старого города и близлежащих сел и деревень, начало освоения которых приходится на конец 60-х годов прошлого века, так и на незаселенные территории пустырей, сельхозугодий и прибрежных лесных массивов.

Масштабы и интенсивность застройки приводили к перемещению больших объемов грунтов и нарушению почвенного покрова. Перемещенный плодородный слой почв для дальнейшего возврата на рекультивацию нарушенных земель хранился в больших буртах. Активизация строительства последние 10-15 лет затрагивала как новые территории, так и уже застроенные площади с восстановленным плодородным слоем.

Подобная картина формирования разнообразия городских почв характерна для относительно молодых бурно развивавшихся последние десятилетия городов России (Тольятти, города Сибири), а также растущих вширь старых городских агломераций. Отличительной зональной особенностью городов Черноземья (в том числе и г.Набережные Челны) является наличие в качестве рекультивационного материала для воссоздания нарушенного почвенного плодородия достаточно мощного (более 30 см) естественного гумусового горизонта, что позволяет существенно упростить технологию восстановления почвенного покрова по сравнению с относительно бедными и маломощными подзолистыми почвами таежной зоны, где для этих целей приходится доставлять торфо-компостный материал из мест, удаленных за десятки и сотни километров.

Опираясь на работы в изучении и характеристике городских почв, считаем возможным взять за основу уже наработанные принципы диагностики и их классификации. Так, например, Строганова М.Н. с соавторами [3, с.18] на примере почв г. Москвы предложила использовать искусственно образованные почвенные слои буквой «U» (urbanization) с присвоением индексов, отражающих особенности генезиса того или иного слоя – нарушенного или несущего те или иные признаки от естественного почвообразования. Построенный данными авторами генетический ряд типов морфологического строения городских почв от ненарушенных до слабо-, и сильнонарушенных вплоть до полностью преобразованных почвенных профилей – индустриоземов и культуроземов был предложен для почв дерново-подзолистого типа. Для городских почв Набережных Челнов черноземной зоны морфологическое сходство с нарушенными почвами дерново-подзолистого типа начинается с горизонтов, залегающих ниже насыпных гумусового (для черноземных почв) или органо-минеральных слоев (дерново-подзолистых почв). Схематическое

изображение профилей городских почв, представленные Строгановой с соавторами [3, с.20], например, урбаноземов, которые характеризуются отсутствием генетических горизонтов до глубины 50 см, вполне может быть применимо и для соответствующих почвенных образований – урбаноземов г. Набережные Челны. Но существенным в сравниваемых городских почвах остается различие в свойствах верхнего плодородного слоя, унаследованного от природы соответствующих зональных типов почв.

Городские почвы г. Набережных Челнов согласно «Классификации диагностики почв России» [2, с.275] можно отнести в группу квазиземов, представленных в основном урбоквазиземами, отчасти соответствующих урбоназемам в классификации почв М.Н. Строгановой, и реплантоземами, характеризующимися искусственно созданными грунтами с насыпным органическим или гумусированным слоем.

Систематика почв городских территорий М.Н. Строгановой [1, с.220] опирается на такие диагностические критерии как особенности почвообразующих пород и поверхностных грунтов (рис. 1).

Почвы			Почвоподобные тела
	Антропогенно-преобразованные		Искусственно созданные
Естественные (ненарушенные) с признаками	Поверхностно преобразованные	Глубоко преобразованные	
	урбо-почвы	урбанозем	технозем
подзолистая, аллювиальная, торфяная и пр.	урбо-подзолистая урбо-аллювиальная и пр.	урбанозем агроурбанозем некрозем интрузем индустризем	реплантозем конструктозем

Рис. 1. Систематика поверхностных тел городских территорий (фрагмент) (Герасимова М.И. и др., 2004, с.220)

Обобщая генезис почвенного покрова территории г. Набережные Челны, можно выделить следующие группы почв:

1) редкие, но ещё встречающиеся выделы ненарушенных и малонарушенных почв, прежде находившихся в сельскохозяйственном использовании, заброшенных садово-огородных участков и суходольных пустырей;

2) имеющие признаки прошлого урбопедогенеза, но нарушенные новым строительством;

3) почвы, составляющие динамический ряд урбогенеза по степени антропогенного влияния за 45-летний временной период с момента активного освоения данной территории, без вторичного нарушения;

4) то же, но имеют признаки антропогенно-техногенного вторичного преобразования;

5) городских парков, скверов, почвы которых не были нарушены и испытывают активную рекреационную нагрузку;

б) то же, но почвы с нарушенным профилем;

7) придорожные полосы, сроки рекультиваций которых зависят от давности капитального ремонта асфальто-бетонных покрытий, поэтому почва отдельных участков придорожной полосы имеет свою историю;

8) территории вновь сдаваемых новостроек со свежими рекультивированными профилями антропогенных почв на вновь осваиваемых землях;

9) на территориях уплотненной застройки, где почвы прошли вторую рекультивацию, а сроки первичной рекультивации варьируют во временном диапазоне активной фазы строительства города;

10) территории временно заброшенного строительства, где плодородный слой почв удален, но проходит те или иные стадии задернения обнаженного грунта и первичного гумусообразования.

Приведенная выше группировка почв по г. Набережные Челны не отражает, конечно, всего разнообразия почвенного покрова, как и причин их урбогенеза, поэтому предстоит большая работа по уточнению этих групп и созданию карты структуры почвенного покрова данной урбанизированной территории.

Литература

1. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учеб. пособие / М.И. Герасимова, М.Н. Строганова, Н.В. Можарова, Т. В. Прокофьева. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.

2. Классификация и диагностика почв России / Л.Л.Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

3. Городские почвы: опыт изучения и систематика / МЛ. Строганова, М.Г. Агаркова // Почвоведение. – 1992. – № 7. – С. 16-24.

Зайниев Р. М.,

д-р пед. наук, профессор

От сотрудничества образовательных учреждений – к повышению качества подготовки специалистов

За последние годы взаимного сотрудничества учебных заведений различного профиля и разного уровня подготовки специалистов, можно сказать, вообще отсутствует. Этому явлению способствовали, на мой взгляд, следующие процессы, происходящие в жизни нашей страны. Во-первых, переход страны от плановой экономики к рыночной постепенно оторвал друг от друга учебные заведения не только разного уровня, но и одного уровня подготовки специалистов по одному и тому же направлению. Усилилась конкуренция между самими учебными заведениями за абитуриентов, за эффективность работы учебного заведения и т.д. Школа, колледжи, вузы самостоятельно, по-своему усмотрению готовили своих выпускников либо к практической деятельности на рынке труда, либо к продолжению обучения на другом уровне образования. Во-вторых, школы, колледжи, вузы по-своему назначению и уровню подготовки принадлежат различным министерствам и органам управления образования. А это накладывает на них определенные узковедомственные требования подготовки специалистов. В-третьих, введенный или, точнее, внедренный в школы ЕГЭ, отодвинул учащихся и выпускников школ от всех учебных заведений, где осуществляется подготовка специалистов для данного города, для данного региона. Вузы всегда были заинтересованы в сотрудничестве со школами, особенно с выпускными классами средних общеобразовательных школ. Каждый вуз (технический, педагогический, медицинский, сельскохозяйственный) заинтересован в качественном наборе абитуриентов, качественной подготовке и выпуске качественных специалистов высшей квалификации. Поэтому институты и университеты создавали свои физико-математические, химические, биологические, педагогические и другие школы. И это сотрудничество давало положительные результаты: школы готовили своих лучших учеников к поступлению в конкретный вуз, на заранее избранную специальность. Политические и социально экономические изменения, происходящие в нашей стране, усиливающаяся конкуренция на рынке труда ставят по-новому вопросы о необходимости значи-

тельного повышения качества подготовки современных специалистов в области техники, технологии, экономики. Поэтому более тесное сотрудничество общеобразовательных учреждений общего и различных уровней среднего и высшего профессионального образования остается актуальной задачей, требующей более подробного изучения [1, с.67-82].

1. Сотрудничество общеобразовательных школ и вузов

В сотрудничестве общеобразовательной школы и вуза заинтересованы обе стороны. «Вузы должны быть заинтересованной стороной и в сотрудничестве со средней школой: помогать как развитием педагогической науки, новых методик, так и в плане переподготовки кадров для школы», – подчеркнул Президент РФ В.В. Путин в 2006 году [6, с.4]. Эта заинтересованность продиктована еще тем, что современная общеобразовательная школа готовит абитуриента для высшей школы. Выпускники средней школы в настоящее время выбирают себе вуз или специальность и без каких-либо внешних воздействий как со стороны вуза, так и со стороны предприятий или организаций. Таковы законы рыночной экономики. Каждая сторона – и вуз, и предприятие – заинтересована принять хорошего студента или хорошего специалиста, но потратить на их подготовку минимум средств. Каковы же возможные варианты сотрудничества школы и вуза?

Для сотрудничества общеобразовательных школ со средними и высшими профессиональными учебными заведениями сейчас созданы самые благоприятные условия. Этому способствует принятая в 2002 году «Концепция профильного обучения» на старшей ступени общего образования, где отмечено, что «необходимым условием создания образовательного пространства, способствующего самоопределению учащегося основной ступени, является введение предпрофильной подготовки через организацию курсов по выбору... Основная функция курсов по выбору – профориентация» [2, с.9]. Это положение является существенным в организации сотрудничества школы и вуза. Вузы в лице своих представителей могут организовывать в общеобразовательных школах чтение курсов, проведение занятий с посещением учебных и научных лабораторий вуза, экскурсионным посещением тех предприятий, где работают выпускники данного вуза, данной специальности. Но эти мероприятия должны носить долгосрочный характер на договорной основе. Вузы на уровне кафедр или факультетов могут заключать договоры сотрудничества с определенными школами города или населенных пунктов. Этот договор должен быть направлен на организацию профильных классов (класса) в данной школе и проведение части занятий по отдельному соглашению (контракту) с про-

фессорско-преподавательским составом кафедры или факультета. Такой вид сотрудничества, на наш взгляд, является новым и требующим дальнейшего совершенствования и финансовой поддержки.

К эффективным видам сотрудничества образовательной школы и педагогического вуза можно отнести договорные отношения факультетов, отделений, кафедр вуза с конкретными районными и городскими отделами образования на более длительный период. Вуз не может в течение 2-3-х лет подготовить учителя для данной школы, для данного района. Вузы приглашают своих потенциальных абитуриентов не только выпускных классов, но и учащихся 7-9-х классов на различные мероприятия, проводимые в вузе: предметные олимпиады, спортивные соревнования (например, для сдачи нормы ГТО), творческие и технические конкурсы, концерты художественной самодеятельности, знакомство с историей вуза и их выпускниками и т.д. Преподаватели вуза также могут посетить школы, проводить занятия, мастер-классы с учителями школ, читать лекции, презентовать свои методические находки и другие мероприятия. Вуз и школа (школы района или города) могут проводить совместные конференции по актуальным вопросам школьного и вузовского образования с публикацией на страницах вузовских республиканских и всероссийских журналов и сборников.

Надо заметить, что началось возрождение летних математических (физико-математических) школ с учащимися города Набережные Челны на базе Набережночелнинского института социально-педагогических технологий и ресурсов и города Елабуги на базе Елабужского института К(П)ФУ. Если эта работа будет продолжена не только летом, но и в зимние и весенние каникулы школьников, то она непременно принесет свои положительные результаты.

2. Сотрудничество технических колледжей и технических вузов

Сотрудничество технических колледжей и технических вузов представляет отдельный интерес в связи с подготовкой в этих учебных заведениях специалистов инженерно-технического профиля. Прежде всего заметим, что к началу 21 века начальные профессиональные учебные заведения постепенно переходят на уровень средних профессиональных учебных заведений. Начальные профессиональные учебные заведения постепенно начали не только переходить к обучению определенным профессиям, но и давать среднее (общее) образование. Поэтому ряд учебных заведений начального профессионального образования начали называться лицеями или даже колледжами. «Ведь ПТУ и техникумы, – отмечает А.М. Новиков, – это, по сути, один тип среднего профессио-

нального учебного заведения, хотя, естественно, с разными условиями получаемого студентами профессионального образования... реорганизуемыми в профессиональные лицеи и колледжи» [4, с.95]. Такое название более точно отражает существующие изменения в современном образовательном пространстве. Последним федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации» статьей 108 начальное профессиональное образование приравнивается к среднему профессиональному образованию по программам подготовки квалифицированных рабочих (служащих) [7, с.188]. Необходимость согласованного взаимодействия всех звеньев образовательного пространства при подготовке специалистов среднего звена отмечается и в программе развития среднего профессионального образования: «При этом одним из важных направлений развития содержания среднего профессионального образования является усиление общепрофессиональной подготовки, обеспечивающей профессиональную мобильность и социальную защищенность выпускников средних специальных учебных заведений» [8, с.3].

Таким образом, процесс подготовки специалиста инженерно-технического направления высшего звена может осуществляться в два этапа: сначала колледж, затем технический вуз (институт, академия или университет). Поэтому одним из существенных составляющих в подготовке инженера является взаимодействие колледжа и вуза, их сотрудничество между собой. Говоря о преемственности, последовательности профессионального образования от начального до высшего, А.М. Новиков замечает: «Наверное, было бы хорошо, если бы вся молодежь последовательно продвигалась по этим ступеням» [4, с.94]. С этих позиций можно построить сотрудничество технического колледжа с техническим вузом.

Основными направлениями сотрудничества технических колледжей и технических вузов можно считать:

- сотрудничество технического колледжа и технического вуза должно «решаться выстраиванием преемственного содержания образовательных программ» [5, с.139]. Открываются уникальные возможности согласования учебных планов и программ, использования учебных и научных лабораторий вуза, преподавания отдельных дисциплин в колледже профессорско-преподавательским составом и использования других потенциальных возможностей вуза (спортзалы, библиотеки, читальные залы, учебные аудитории, общежитие, медицинское обслуживание, студенческие столовые, кафе, совместные концертные программы, спортивные соревнования и т.д.). Слабыми местами такого сотрудничества являются ориентация студентов колледжа на продолжение учебы в вузе по сокра-

щенной программе, платность обучения студентов в колледже. Поэтому в колледжи поступает слабо подготовленная часть выпускников с основным общим образованием (после 9-х классов) и средним (общим) образованием (после 11-х классов);

- сотрудничество самостоятельных технических колледжей с техническими вузами должно быть построено на долгосрочной основе. «В вузе дается не только профессиональное образование, но и продолжается общеобразовательная подготовка, которая является неотъемлемой частью высшего образования. Более того, сейчас все больше говорят о необходимости общего высшего образования», – отмечает А.М. Новиков [4, с.94]. Поэтому выпускники колледжей или сразу после окончания колледжа поступают в вуз на соответствующие специальности, или через определенное время продолжают свое образование по заочной или вечерней форме обучения, или в форме дистанционного образования;

- подготовка специалистов среднего звена: техников в колледжах, высшего звена: инженеров в вузах постепенно должна переходить на основу долгосрочных договоров с крупными предприятиями, крупным и средним бизнесом и носить со временем поступательный характер. Аналогом такой работы является подготовка артистов, журналистов, корреспондентов и т.д. Этот вид сотрудничества учебных заведений и предприятий, развитый в советское время, утратился за последние годы;

- «Поощрять прямые контакты российских вузов, вышедших на внешний рынок образовательных услуг» [3, с.31]. В связи с постепенным переходом сферы образования в «отрасль производства знаний и человеческого капитала» [3, с.82] началась подготовка специалистов по инженерно-техническим специальностям для других стран, прежде всего для стран ближнего зарубежья. Выигрышным является и то обстоятельство, что многие жители этих стран – это русскоязычное население или жители с родным русским языком. При этом основное направление работы с гражданами зарубежных государств должно строиться с использованием новейших информационных технологий в сфере образования на базе средних специальных учебных заведений этих стран.

Таким образом, сотрудничество общеобразовательных школ, колледжей и вузов, в том числе педагогических и инженерно-технических, приводит к повышению качества профильного обучения, качественного отбора и приема обучающихся в средних и высших профессиональных учебных заведениях. Качественно отобранные и принятые в учебные заведения учащиеся (студенты) в конечном итоге составляют прогрессивную и подготовленную к овладению будущей специальностью часть студенче-

ской молодежи.

Литература

1. Зайниев Р.М. Реализация преемственности в математическом образовании: монография. – Набережные Челны: Изд-во ФГБОУ ВПО «НИСПТР», 2015. – 223 с.
2. Концепция профильного обучения на старшей ступени общего образования: приказ Минобр. РФ от 18 июля 2002 г. № 2783.
3. Лазарев В.А. О предпринимательских проектах на международном рынке образовательных услуг. – Ярославль: Канцлер, 2004. – 98 с.
4. Новиков А.М. Развитие отечественного образования // Полемиические размышления. – М.: Эгвес, 2005. – 176 с.
5. Новиков А.М. Российское образование в новой эпохе // Парадоксы наследия, векторы развития. – М.: Эгвес, 2000. – 272 с.
6. Путин В.В. Тема определяющего значения: вступительное слово // Высшее образование сегодня. – 2006. – № 6. – С. 3-4.
7. Закон об образовании в Российской Федерации: федер. закон № 273-ФЗ от 29.12.2012. – Р н/Дону: Легион, 2013. – 208 с.
8. Чаплыгина И.В. Формирование ключевых компетенций студентов при изучении общепрофессиональных дисциплин в колледже: автореф. дис. ... канд. пед. наук. – М., 2006. – 29 с.

Розенцвайг А.К.,
д-р техн. наук, профессор,
Страшинский Ч.С.,
канд. техн. наук, доцент
Набережночелнинский институт КФУ

Теплообмен при кипении эмульсий на нагретой поверхности

Введение. Важной особенностью разрушения перегретых капель под воздействием турбулентных пульсаций скоростей сплошной среды является наличие в них избыточной тепловой энергии [1]. Очевидно, что этот фактор снижает вероятность сохранения целостности капель дисперсной фазы, которую обеспечивает энергия поверхностного натяжения. Однако повышение частоты разрушения капель является не единственным последствием их перегрева. Другим возможно

определяющим последствием является образование пузырьков паровой фазы, инициированное локальными пульсациями давления внутри капель, генерируемыми турбулентными пульсациями сплошной среды.

Энергия турбулентных пульсаций скорости сплошной среды в определенных условиях инициирует в объеме капель дисперсной фазы формирование вынужденных пульсаций давления, создающих внутри капли области «отрицательного» давления, стимулирующих образование внутри капли паровых пузырьков с размерами больше критического. Дальнейший рост пузырька приводит к разрушению капли. Условием образования пузырька критического размера можно считать превышение работы вязких сил турбулентных пульсаций, деформирующих каплю, над работой по образованию пузырька критического размера $W_0(\Delta T, p)$, которая является функцией температуры перегрева ΔT и «отрицательного» давления в капле p [2].

В изотермических условиях разрушение капель в турбулентном потоке не смешивающейся с ними жидкости объясняет теория А.Н. Колмогорова-Хинце [3.4] о преобладающем влиянии локальной структуры турбулентности на устойчивость капель, которая связана с соотношением межфазного натяжения и внешних сил, в качестве которых могут преобладать турбулентные пульсации скорости

$$d_{\max} = C_1(\sigma/\rho_c \bar{v}^2), \quad d_{\max} > \lambda_0, \quad (1)$$

или вязкие напряжения сдвига, обусловленные их градиентом

$$d_{\max} = C_2(\sigma/\mu_c(\partial\bar{v}/\partial r)), \quad d_{\max} < \lambda_0. \quad (2)$$

где σ – межфазное натяжение, ρ_c – плотность сплошной среды, а \bar{v} – осредненная скорость турбулентных пульсаций, C_1 , C_2 – экспериментальные константы.

Энергия пульсаций давления, недостаточная для непосредственного разрушения капель, может образовывать локальные области пониженных «отрицательных» давлений, способствующие снижению критического размера жизнеспособных пузырьков пара [5]. Суммарный результат температурного фактора в модели разрушения капель формально представлен заменой исходного диаметра капель d_{\max} в соотношении (2) размером $d_{\max t}$, соответствующим гидротермодинамическому разрушению капли :

$$d_{\max t} = d_{\max} (A_{\text{тепл}} / A_{\text{турб}})^\alpha, \quad (3)$$

где $A_{\text{тепл}} \sim W_0(\Delta T, p)$ – работа по образованию парового зародыша критического размера в перегретой и деформированной капле. Работа

вязких сил сдвиговых напряжений крупномасштабных пульсаций при $d_{\max t} < \lambda_0$ записывается как $A_{\text{турб}} \sim \mu_c (\partial \bar{v} / \partial r) d_{\max t}$.

Таким образом, исходное выражение (3) принимает следующий вид:

$$d_{\max t} = C_3 (\sigma / d_{\max t} \mu_c (\partial \bar{v} / \partial r)) / (W_0 (\Delta T, p) / \mu_c (\partial \bar{v} / \partial r) d_{\max t}^3)^\gamma. \quad (4)$$

Соотношение (4) можно переписать в следующем виде:

$$(\mu_c (\partial \bar{v} / \partial r) d_{\max t} / \sigma)^\alpha (\mu_c (\partial \bar{v} / \partial r) d_{\max t}^3 / W_0 (\Delta T, p))^\beta = C_4, \quad \text{где } \gamma = \beta / \alpha. \quad (5)$$

Условия разрушение капель эмульсий при кипении у нагретой стенки. При рассмотрении кипения однородной жидкости на нагретой поверхности Лабунцов [6] использовал аналогию с однофазной вынужденной конвекцией. Для рассмотрения процессов кипения он вводит понятие своеобразного пограничного слоя на поверхности, имеющего некоторую эффективную толщину, порядок которой определяется из условия соизмеримости эффективных вязкостных и инерционных сил.

Вне слоя преобладает пульсационное течение и перемешивание, интенсивность которого можно количественно характеризовать некоторой средней пульсационной скоростью \bar{u} .

При кипении эмульсии с низкотемпературной дисперсной фазой предполагается, что за счёт вязких сил капли, находящиеся в пограничном слое у поверхности нагрева, деформируются, что вызывает у них образование паровых зародышей критического размера

На основе модели Лабунцова и с учётом того, что вскипают у поверхности нагрева «поверхностные» капли эмульсии в [7] предложено соотношение для плотности теплового потока при кипении эмульсии с низкотемпературной дисперсной фазой:

$$q \sim \lambda_s \bar{u} \Delta T / \nu_s + r \rho_v \bar{u} = \bar{u} (C_5 \lambda_s \Delta T / \nu_s + C_6 r \rho_v), \quad (6)$$

где C_5 и C_6 – экспериментальные константы, ΔT – температурный перегрев, ν_s , λ_s – кинематическая вязкость и коэффициент теплопроводности сплошной среды, r – удельная теплота парообразования дисперсной фазы, ρ_v – плотность паровой фазы. Характерная средняя пульсационная скорость \bar{u} определяется таким образом, чтобы рассчитанная на её основе средняя кинетическая энергия пульсационного движения соответствовала той энергии, которая передаётся жидкости растущими на поверхности пузырьками пара. Она определяется с помощью следующего соотношения:

$$\rho_s (dR/dt)^2 R^2 n_s^* \sim \rho_s \bar{u}^{-2}, \quad (7)$$

где R – текущий радиус пузырька пара, n_s^* – число действующих центров кипения в каплях у поверхности нагрева.

Образование и рост парового пузырька в капле, находящейся в перегретом слое высококипящей сплошной среды у поверхности нагрева, предполагаются во многом аналогичными образованию и росту парового пузырька в однородной жидкости на поверхности нагрева [6]. Тогда

$$R \sim \sqrt{\lambda_s \Delta T / r \rho_v} \sqrt{t} . \quad (8)$$

Число зародышей в каплях критического размера у поверхности нагрева определим следующим образом:

$$n_s^* = P \cdot n_s , \quad (9)$$

где n_s – число капель у поверхности единичного поверхностного слоя, P – вероятность зародышеобразования критического размера в одной капле, которую будем определять из соотношения (5).

$$P = \left(\mu_c (\partial \bar{v} / \partial r) d_{\max} / \sigma \right)^\alpha \left(\mu_c (\partial \bar{v} / \partial r) d_{\max}^3 / W_0 (\Delta T, p) \right)^\beta / C_4 . \quad (10)$$

Для «пристенной» турбулентности справедливо соотношение [8]

$$\tau_w = (\mu_s \partial \bar{v} / \partial r)_w = \rho_s \bar{u}^2 , \quad (11)$$

где τ_w – напряжение трения на стенке.

Тогда уравнение (9), с учётом (10) и (11) запишется в виде

$$n_s^* \sim \left(\rho_s \bar{u}^2 d / \sigma \right)^\alpha \left(\rho_s \bar{u}^2 d^3 / W_0 (\Delta T, p) \right)^\beta \cdot n_s . \quad (12)$$

Для определения \bar{u} используем уравнения (10) и (11):

$$\bar{u} \sim \lambda_s / r \rho_v \sqrt{n_s^* \Delta T} . \quad (13)$$

С учётом (12) и (13)

$$\bar{u} \sim \left(\lambda_s / r \rho_v \right) \left(\rho_s \bar{u}^2 d / \sigma \right)^\alpha \left(\rho_s \bar{u}^2 d^3 / W_0 (\Delta T, p) \right)^\beta \cdot \sqrt{n_s^* \Delta T} . \quad (14)$$

Откуда

$$\bar{u} \sim \left(\lambda_s / r \rho_v \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)}} \left(\rho_s d / \sigma \right)^{\frac{\alpha}{2(1-\alpha-\beta)}} \left(\rho_s d^3 / W_0 (\Delta T, p) \right)^{\frac{\beta}{2(1-\alpha-\beta)}} \cdot \left(\sqrt{n_s^* \Delta T} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)}} . \quad (15)$$

Тогда уравнение (6) запишется

$$q = \left(\lambda_s / r \rho_v \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)}} \left(\rho_s d / \sigma \right)^{\frac{\alpha}{2(1-\alpha-\beta)}} \left(\rho_s d^3 / W_0 (\Delta T, p) \right)^{\frac{\beta}{2(1-\alpha-\beta)}} \cdot \left(\sqrt{n_s^* \Delta T} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)}} . \quad (16)$$

$$(C_5 \lambda_s \Delta T / \nu_s + C_6 r \rho_v)$$

Величина показателей степени α и β находится путём согласования окончательной зависимости с экспериментальными данными процесса кипения эмульсий на нагретой поверхности.

Сопоставление с экспериментальными данными. В работе [9] представлены результаты исследования вскипания эмульсий с

низкотемпературной дисперсной фазой на нагретой платиновой проволоке диаметром D .

Для сопоставления теоретической модели с данными эксперимента определим число капель эмульсии n_s , приходящихся на единицу одномерной поверхности нагреваемой проволоки. Число перегретых капель, находящихся в перегретом слое нагреваемой проволоки длиной l соответствует $n_l \sim \sqrt[3]{nl}$. Тогда число капель на единицу поверхности нагреваемой

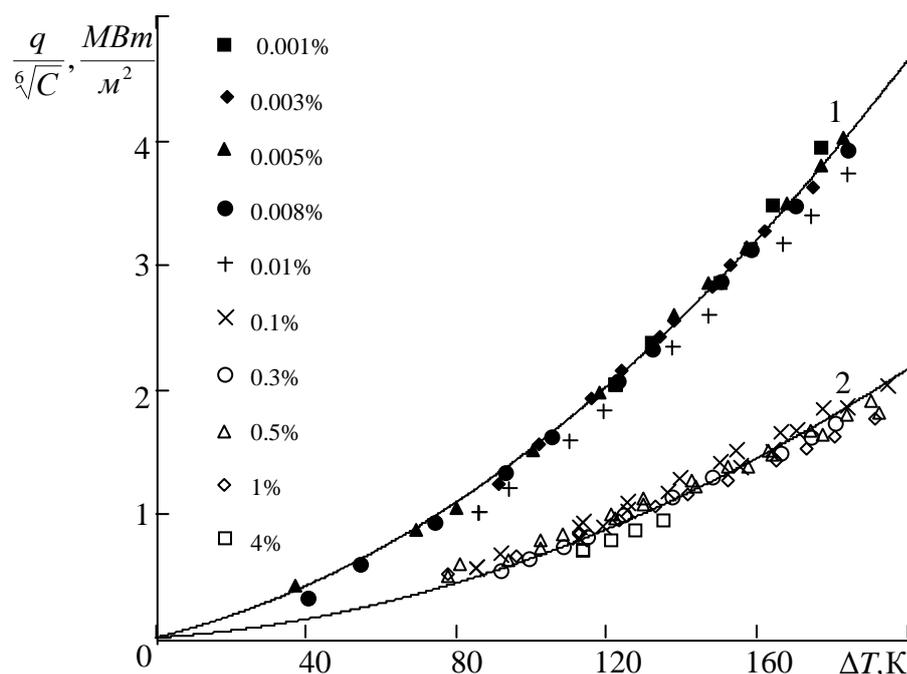


Рис. 1. Обобщение опытных данных по теплоотдаче при кипении эмульсии вода / кремнийорганическая жидкость ПЭС-5

проволоки будет соответствовать $n_s \sim \sqrt[3]{nl}/Dl = \sqrt[3]{n}/D$. Тогда соотношение (16) с учётом связи счётной n и объёмной C концентрации $C \sim d^3 n$ запишется

$$q = \left(\lambda_s / r \rho_v \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)}} (\rho_s d / \sigma)^{\frac{\alpha}{2(1-\alpha-\beta)}} \left(\rho_s d^3 / W_0(\Delta T, p) \right)^{\frac{\beta}{2(1-\alpha-\beta)}} \cdot \left(\sqrt[6]{C} \Delta T / \sqrt{Dd} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)}} (C_5 \lambda_s \Delta T / v_s + C_6 r \rho_v) \quad (17)$$

На рис. 1 экспериментальные данные, представленные в работе [9]. Аппроксимация экспериментальных данных этой расчётной кривой стала возможной при $\alpha = \beta = 0$.

Таким образом, в случае водосодержащих эмульсий, вскипание капель происходит без существенной их деформации и объясняется тем,

что в каплях воды уже существуют газовые пузырьки критического размера [10].

На рис.1 можно увидеть, что экспериментальные точки группируются около двух кривых. Кривая 1 соответствует экспериментальным точкам с объёмными концентрациями 0.001 – 0.01%, кривая 2 – 0.1 – 4%. Такой характер группировки, очевидно, свидетельствует о смене режимов кипения, от первого пузырькового (0.0001 -0.01%) ко второму пузырьковому режиму, но с паровой плёнкой (концентрация больше 0.1%).

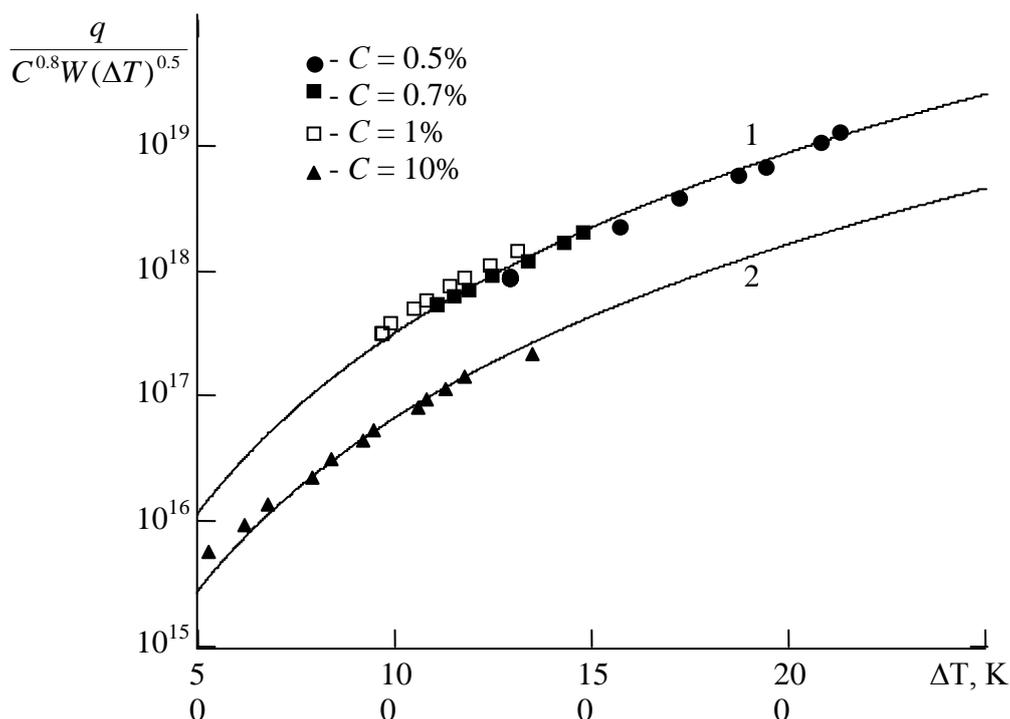


Рис. 2. Обобщение опытных данных по теплоотдаче при кипении эмульсии н-пентан/глицерин

Рассмотрим теперь применение формулы (17) для эмульсий из органических жидкостей, в которых согласно [10], газовые пузырьки отсутствуют. На рис. 2 представлены обработанные результаты экспериментов, полученные в работе [9] для эмульсии н-пентан/глицерин.

Очевидно, что здесь также наблюдаются два пузырьковых режима кипения. Кривые, полученные при $\alpha = 0,58$, $\beta = - 0,21$, хорошо аппроксимируют экспериментальные данные. Это говорит о том, что при кипении эмульсии может происходить разрушение капель за счёт вязких сил и энергии её перегрева.

Литература

1. Розенцвайг А.К. Формирование энергосберегающих структур при проектировании процессов переноса и оптимизации их режимных параметров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – Казань: КГЭУ. – 2003. – № 7-8. – С.58-67.
2. Скрипов В.П. Метастабильная жидкость. – М.: Наука, 1972. – 312с.
3. Колмогоров А.Н. О дроблении капель в турбулентном потоке // Докл. АН СССР. – 1949. – Т.66, № 5. – С. 825-828.
4. Hinze J.O. Fundamentals of hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes // A.I.Ch.E. Journal. – 1955. – V.I, n 3. – P. 289-295.
5. Граница предельных перегревов н-гептана, этанола, бензола и толуола в области отрицательных давлений / В.Е. Виноградов, П.А. Павлов // ТВТ. 2000. Т.38. №3. С.402 – 406.
6. Лабунцов Д.А. Физические основы энергетики // Избранные труды по теплообмену, гидродинамике, термодинамике. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 388с.
7. Rozentsvaig A. K., Strashinskii C. S. Model of the heat exchange in boiling emulsions with low-boiling disperse phase at the solid wall // Contemporary Engineering Sciences. 2014 – Vol. 7, no. 20.– P. 965 - 971.
8. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1978. – 736с.
9. Результаты экспериментального исследования теплообмена эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой / Н.В. Буланов, Б.М. Гасанов, Е.А. Турчанинова // ТВТ. – 2006. – Т.44, №2. – С. 268-284.
10. Хейуорд А. Отрицательные давления в жидкостях: как их заставить служить человеку? // Успехи физических наук. – 1972. – Т. 108. Вып. 2. – С. 303 -318.

Соловьева С.А.,
канд. физ.-мат. наук

К вопросу о приближенном решении интегральных уравнений Фредгольма второго рода

Теория интегральных уравнений, в том числе уравнений Фредгольма второго рода, является одной из центральных областей современной математики и ее приложений. К таким уравнениям приводят

многочисленные прикладные задачи. В качестве иллюстрации можно привести работы [1]–[6] и многие другие. В статьях [1]–[3] доказательство существования решения некоторых краевых задач сводится к вопросу разрешимости интегральных уравнений Фредгольма второго рода. В работах [4]–[6] рассмотрены, соответственно, задачи о колебаниях неоднородного изотропного пористого упругого слоя, о рассеянии плоской поляризованной электромагнитной волны, о проникновении низкочастотного магнитного поля через полупрозрачную незамкнутую сферическую оболочку, при решении которых используются рассматриваемые уравнения или их системы.

Теория интегральных уравнений Фредгольма и Вольтерра первого и второго рода, а также теория сингулярных интегральных уравнений в настоящее время достаточно хорошо разработаны. Наиболее полные результаты и обширную библиографию можно найти в справочных пособиях А.Ф. Верланя и В.С. Сизикова, В.В. Иванова, в специальных обзорных работах Б.Г. Габдулхаева, З. Пресдорфа, И.К. Лифанова и Е.Е. Тыртышникова, а также в монографиях С.М. Белоцерковского и И.К. Лифанова, Г.М. Вайникко, В. Вольтерра, Б.Г. Габдулхаева, Ф.Д. Гахова, В.В. Иванова, Л.В. Канторовича и Г.П. Акилова, Л.В. Канторовича и В.И. Крылова, М.Л. Краснова, И.К. Лифанова, А.Ю. Лучки и Т.Ф. Лучка, С.Г. Михлина и Х.Л. Смолицкого, Н.И. Мухелишвили, З. Пресдорфа, И.И. Привалова, Ф. Дж. Трикоми и др.

Вместе с тем некоторые вопросы остались нерешенными. Если ядро интегрального оператора (по первой переменной) и правая часть на отрезке интегрирования являются гладкими функциями, то решение также принадлежит классу гладких функций. В этом случае оценку погрешности приближенных методов естественно проводить, используя метрику пространства непрерывно дифференцируемых функций. Однако, как показано в работе [7], в этом случае получается «плохая» скорость сходимости. В частности, классические методы коллокации, моментов и подобластей, которые являются оптимальными по порядку точности среди всех прямых проекционных полиномиальных методов по метрике пространства непрерывных функций, перестают обладать этим свойством, если использовать норму в пространстве гладких функций. Аналогично ряд методов, основанных на сплайнах, оптимальных по порядку точности среди всех прямых проекционных методов в классе непрерывных функций, не будет удовлетворять условию оптимальности, если оценивать их, используя метрику пространства непрерывно дифференцируемых функций.

В связи с этим возникает задача разработки таких приближенных методов, которые приводили бы к лучшей оценке погрешности, чем классические методы. Впервые эта задача была решена в работе [8], в которой предложен и теоретически обоснован вариант метода коллокации, а также доказана его оптимальность по порядку точности среди всех прямых проекционных полиномиальных методов в случае метрики пространства гладких функций. Впоследствии эти исследования были продолжены в работе [9], в которой предложен и теоретически обоснован специальный вариант метода коллокации, основанный на интерполяционных полиномах Эрмита-Фейера, дающий лучшую скорость сходимости приближенных решений интегральных уравнений Фредгольма второго рода к точному решению, чем соответствующий классический метод.

В рамках данной работы построен специальный вариант метода моментов, приспособленный к решению уравнений Фредгольма второго рода в пространстве непрерывно дифференцируемых функций и являющийся оптимальным по порядку точности в этом пространстве. При доказательстве предлагаемых результатов существенно используются идеи и методы статей [8]–[14].

Структура работы следующая. Сначала вводится нормированное пространство специального вида, разрабатывается теория приближения в этом пространстве. Затем строится специальный вариант метода моментов приближенного решения интегральных уравнений Фредгольма второго рода. Отличие предлагаемого метода от классического метода моментов заключается в том, что для нахождения коэффициентов аппроксимирующего полинома вместо условий ортогональности невязки рассматриваемого приближенного операторного уравнения смещенным полиномам Чебышева первого рода по определенной весовой функции берется условие ортогональности образа невязки при кратном дифференцировании указанным полиномам Чебышева по тому же весу. Кроме того, дополнительно вводится условие равенства невязки и ее производных соответствующих порядков нулю в начале координат. Обоснование предложенного способа решения проводится на основе общей теории приближенных методов анализа, разработанной Б.Г. Габдулхаевым [15, гл. 1], при этом широко используются методы функционального анализа. Далее устанавливается устойчивость разработанного варианта метода моментов относительно малых возмущений исходных данных, а также показывается хорошая обусловленность системы линейных алгебраических уравнений, из

которой находятся коэффициенты аппроксимирующего полинома, в случае хорошей обусловленности исходного интегрального уравнения. Это позволяет находить численные решения исследуемого уравнения на ЭВМ с любой степенью точности. Наконец, устанавливается, что построенный метод оптимален (т.е. является наилучшим) по порядку точности на классе гладких функций, высшая производная которых удовлетворяет условию Гельдера всех прямых проекционных полиномиальных методов решения рассматриваемого уравнения.

Таким образом, в работе получены следующие основные результаты:

– предложен и теоретически обоснован специальный вариант метода моментов решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода в пространстве гладких функций;

– доказана устойчивость предложенного метода относительно малых возмущений исходных данных;

– установлено, что разработанный вариант метода моментов оптимален по порядку точности среди всех прямых проекционных полиномиальных методов решения уравнения Фредгольма второго рода в классе гладких функций.

В заключение отметим, что полученные в работе результаты хорошо согласуются с соответствующими результатами [16] для уравнений Фредгольма второго рода в пространстве непрерывных функций.

На основе рассмотренного алгоритма могут быть получены и другие специальные (как полиномиальные, так и сплайновые) методы решения рассматриваемых уравнений в классе гладких функций.

Литература

1. Тарасенко А.В. О задаче со смещением для одного уравнения в частных производных // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2013. – № 3 (32). – С. 21–28. (Серия «Физикоматематические науки»).

2. Краевая задача для уравнения четвертого порядка с младшим членом / Д. Аманов, М.Б. Мурзамбетова // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. – 2013. – № 1. – С. 3–10.

3. Обратная задача для эллиптического интегро-дифференциального уравнения Фредгольма / Т.К. Юлдашев, А.Г. Лоскутова // Журнал

Средневолжского математического общества. – 2014. – Т. 16. – № 3. – С. 87-93.

4. Колебания неоднородного пороупругого слоя с пустыми порами / А.О. Ватульян, Д.С. Шведов // Вестник Донского государственного технического университета. – 2013. – № 1-2 (70-71). – С. 49-57.

5. Приближенный численный расчет диаграммы направленности поля, рассеянного металлическим телом, на основе регуляризованного метода вспомогательных токов / В.Ф. Апельцин, И.О. Богданов, И.А. Волкова // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2012. – № 2 (2). – С. 65-75.

6. Экранирование низкочастотного магнитного поля незамкнутой тонкостенной сферической оболочкой / В.Т. Ерофеев, И.С. Козловская, Г.Ч. Шушкевич // Журнал технической физики. – 2010. – Т. 80. – № 9. – С. 8-15.

7. Габдулхаев Б.Г. Заметка об общей теории приближенных методов анализа // Функц. анализ и теория функций. Казань, 1999. – Вып. 3. – С. 18-31.

8. К численному решению интегральных уравнений второго рода в классе гладких функций / Н.С. Габбасов, И.П. Касакина // Матем. моделирование и краевые задачи: тр. всерос. науч. конф. Ч. 3: Дифференц. уравнения и краевые задачи. – Самара: СамГТУ, 2004. – С. 48-51.

9. Соловьева С.А. К вопросу о решении интегральных уравнений Фредгольма второго рода // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. – С. 37-40.

10. Габбасов Н.С. Новый прямой метод решения интегральных уравнений первого рода // Дифференц. уравнения. – 1990. – Т. 26. – С. 2122-2127.

11. Габбасов Н.С. Коллокационный метод решения интегральных уравнений первого рода в классе обобщенных функций // Изв. вузов. Математика. – 1993. – № 2. – С. 12-20.

12. Габбасов Н.С. Некоторые варианты метода подобластей для интегральных уравнений первого рода // Изв. вузов. Математика. – 1996. – № 3. – С. 21-28.

13. Габбасов Н.С. Специальный вариант метода коллокации для интегральных уравнений первого рода // Дифференц. уравнения. – 2007. – Т. 3. – № 9. – С. 1238-1243.

14. Обобщенный метод моментов для одного класса интегральных уравнений третьего рода / Н.С. Габбасов, С.А. Соловьева // Дифференц. уравнения. – 2006. – Т. 42. – № 10. – С. 1416-1423.

15. Габдулхаев Б.Г. Оптимальные аппроксимации решений линейных задач. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1980. – 232 с.

16. Габдулхаев Б.Г. Некоторые вопросы приближенных методов // Функц. анализ и теория функций. – Казань, 1968. – Вып. 5. – С. 20-28.

Сарваров Ф.С.,

канд. физ.-мат. наук, доцент;

Гришкин В.В.,

ст. преподаватель;

Рамазанов Ф.Ф.,

канд. техн. наук, доцент,

Набережночелнинский институт КФУ

Диффузионная теория рекомбинации радикалов в нулевом магнитном поле с учетом δ -образного обменного взаимодействия

В нулевом магнитном поле спиновые взаимодействия в радикальной паре (РП) вызывают переходы между синглетным S и тремя триплетными состояниями T_0 , T_{+1} и T_{-1} неспаренных электронов. Спин-гамильтониан, отвечающий за сверхтонкое и обменное взаимодействия, записывается в виде [1]:

$$H = \hbar A \cdot S_1 \cdot I - \hbar J r \frac{1}{2} + 2 \cdot S_1 \cdot S_2, \quad (1)$$

где A – константа сверхтонкого взаимодействия магнитного ядра с электронным спином первого радикала пары, $J r$ – обменный интеграл, зависящий от расстояния r между радикалами. Учитывая короткодействующий характер обменного взаимодействия между неспаренными электронами радикалов пары, обменный интеграл выбираем в виде:

$$J r = J_0 \cdot \frac{\delta(r - r_0)}{4 \pi r^2}, \quad (2)$$

где r_0 – радиус рекомбинации РП, $\delta(r - r_0)$ – дельта функция.

В рамках диффузионной модели рекомбинации изменение матрицы плотности спинов РП описывается следующим кинетическим уравнением [1]:

$$\frac{\partial \rho(r, t)}{\partial t} = -i\hbar^{-1} H, \rho(r, t) + D\Delta \rho(r, t), \quad (3)$$

где D – коэффициент взаимной диффузии радикалов, Δ – оператор Лапласа.

Реакция рекомбинации радикалов учитывается через граничные условия в точке r_0 для матричных элементов матрицы плотности:

$$\begin{aligned} D \cdot \frac{\partial \rho_{SS}(r, t)}{\partial r} \Big|_{r_0} &= Ka \cdot \rho_{SS}(r_0, t), \\ D \cdot \frac{\partial \rho_{TT'}(r, t)}{\partial r} \Big|_{r_0} &= 0, \\ D \cdot \frac{\partial \rho_{ST'}(r, t)}{\partial r} \Big|_{r_0} &= \frac{K}{2} a \rho_{ST'}(r_0, t), \end{aligned} \quad (4)$$

где K – константа скорости рекомбинации синглетных РП, a – толщина реакционной зоны. На больших расстояниях между радикалами используется второе граничное условие:

$$\rho(r \rightarrow \infty, t) = 0. \quad (5)$$

Вероятность рекомбинации радикалов равна [1]:

$$\rho = 4\pi r_0^2 K a \bar{\rho}_{SS}(r_0), \quad (6)$$

$$\text{где } \bar{\rho}_{SS}(r_0) = \int_0^{\infty} \rho_{SS}(r_0, t) dt.$$

Интегрируя (3) по времени, получаем уравнение для усредненной по времени матрицы плотности $\rho(r)$ с заданным расстоянием r между радикалами:

$$-\rho(r, 0) = -i\hbar^{-1} H, \bar{\rho}(r) + D\Delta \bar{\rho}(r), \quad (7)$$

где $\rho(r, 0)$ – начальная матрица плотности, выбираемая в виде дельта функции с начальным расстоянием r_0 между радикалами пары:

$$\rho(r, 0) = \begin{pmatrix} \gamma_S & 0 \\ 0 & \gamma_T \end{pmatrix} \cdot \frac{\delta(r - r_0)}{4\pi r^2}, \quad (8)$$

Коэффициенты γ_S и γ_T зависят от исходного предшественника РП.

Рассмотрим модель радикальной пары с одним магнитным ядром со спином $I = \frac{1}{2}$. Полный базис спиновых функций для такой системы из

трех спинов $S_1 = \frac{1}{2}$, $S_2 = \frac{1}{2}$, $I = \frac{1}{2}$ состоит из 8 спиновых функций и в зависимости от значения проекции полного спина M_z разбивается на независимые друг от друга четыре подгруппы:

$$M_z = +\frac{3}{2} \rightarrow |\alpha_1 \alpha_2 \alpha_N \rangle$$

$$M_z = -\frac{3}{2} \rightarrow |\beta_1 \beta_2 \beta_N \rangle$$

$$M_z = +\frac{1}{2} \rightarrow |\alpha_1 \alpha_2 \beta_N \rangle, |\beta_1 \alpha_2 \alpha_N \rangle, |\alpha_1 \beta_2 \alpha_N \rangle$$

$$M_z = -\frac{1}{2} \rightarrow |\beta_1 \beta_2 \alpha_N \rangle, |\alpha_1 \beta_2 \beta_N \rangle, |\beta_1 \alpha_2 \beta_N \rangle .$$

Рассмотрим подгруппу с $M_z = +\frac{1}{2}$. Сначала решаем задачу нахождения собственных функций и собственных значений энергии сверхтонкого взаимодействия. В этом базисе собственных функций записываем общие решения кинетического уравнения (7) для диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности $\rho(r)$. Потом эти общие решения переводим в синглет-триплетный базис, в котором их удовлетворяем граничным условиям (4) в точке $r = r_0$. Опуская эту довольно длительную процедуру, получаем следующую окончательную систему из 9 алгебраических уравнений для матричных элементов $\rho_{lj}(r_0)$ в синглет-триплетном базисе:

$$\begin{aligned} 2 + \frac{1}{q} + \frac{3}{4} \cdot \delta \cdot x_1 - \frac{\delta}{4} \cdot x_2 - \frac{\delta}{2} \cdot x_3 + \frac{\delta}{2} \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 - \frac{\delta}{4} \cdot x_6 - \frac{\delta}{2} \cdot x_7 + \frac{\delta}{2} \cdot x_8 + \delta \cdot x_9 &= \frac{2\gamma_s}{4\pi_0 r D} \\ -\frac{\delta}{4} \cdot x_1 + 2 + \frac{3}{4} \cdot \delta \cdot x_2 - \frac{\delta}{2} \cdot x_3 - \frac{\delta}{2} \cdot x_4 - \delta \cdot x_5 - \frac{\delta}{4} \cdot x_6 + \frac{\delta}{2} \cdot x_7 - \frac{\delta}{2} \cdot x_8 + 0 \cdot x_9 &= \frac{2\gamma_T}{4\pi_0 r D} \\ -\frac{\delta}{4} \cdot x_1 - \frac{\delta}{4} \cdot x_2 + 1 + \frac{\delta}{2} \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + \frac{\delta}{2} \cdot x_5 + \frac{\delta}{4} \cdot x_6 + 0 \cdot x_7 + 0 \cdot x_8 - \frac{\delta}{2} \cdot x_9 &= \frac{\gamma_T}{4\pi_0 r D} \\ \frac{\delta}{2} \cdot x_1 - \frac{\delta}{2} \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + 2 + \frac{\delta}{2} \cdot x_4 + \frac{\delta}{2} \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 - \frac{\delta}{2} \cdot x_7 + \frac{\delta}{2} \cdot x_8 + \frac{\delta}{2} \cdot x_9 &= 0 \\ 0 \cdot x_1 + \delta \cdot x_2 - \delta \cdot x_3 - \frac{\delta}{2} \cdot x_4 + 2 + \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot x_5 - \frac{\delta}{2} \cdot x_6 - \frac{\delta}{2} \cdot x_7 - \frac{\delta}{2} \cdot x_8 - \frac{\delta}{2} \cdot x_9 &= 0 \quad (9) \\ -\frac{\delta}{4} \cdot x_1 - \frac{\delta}{4} \cdot x_2 + \frac{\delta}{2} \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + \frac{\delta}{2} \cdot x_5 + 1 + \frac{1}{2q} + \frac{\delta}{4} \cdot x_6 + 0 \cdot x_7 + 0 \cdot x_8 - \frac{\delta}{2} \cdot x_9 &= -2J \cdot x_7 \\ \frac{\delta}{2} \cdot x_1 - \frac{\delta}{2} \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + \frac{\delta}{2} \cdot x_4 - \frac{\delta}{2} \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 + 1 + \frac{1}{2q} + \frac{\delta}{2} \cdot x_7 + \frac{\delta}{2} \cdot x_8 - \frac{\delta}{2} \cdot x_9 &= 2J \cdot x_6 \end{aligned}$$

$$-\frac{\delta}{2} \cdot x_1 + \frac{\delta}{2} \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 - \frac{\delta}{2} \cdot x_4 - \frac{\delta}{2} \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 + \frac{\delta}{2} \cdot x_7 - 2 \left(1 + \frac{1}{2q} + \frac{\delta}{2} \right) \cdot x_8 - \frac{\delta}{2} \cdot x_9 = 4J \cdot x_9$$

$$\frac{\delta}{2} \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 - \delta \cdot x_3 + \frac{\delta}{2} \cdot x_4 + \frac{\delta}{2} \cdot x_5 - \frac{\delta}{2} \cdot x_6 + \frac{\delta}{2} \cdot x_7 + \frac{\delta}{2} \cdot x_8 - 2 \left(1 + \frac{1}{2q} + \frac{3}{2} \delta \right) \cdot x_9 = -4J \cdot x_8$$

Здесь использованы следующие обозначения:

$$x_1 = \rho_{s\alpha_N, s\alpha_N}; \quad x_2 = \rho_{T_0\alpha_N, T_0\alpha_N}; \quad x_3 = \rho_{T_+\beta_N, T_+\beta_N};$$

$$x_4 = \frac{1}{2} (\rho_{T_0\alpha_N, T_+\beta_N} + \rho_{T_+\beta_N, T_0\alpha_N});$$

$$x_5 = \frac{i}{2} (\rho_{T_0\alpha_N, T_+\beta_N} - \rho_{T_+\beta_N, T_0\alpha_N});$$

$$x_6 = \rho_{s\alpha_N, T_0\alpha_N} + \rho_{T_0\alpha_N, s\alpha_N}; \quad x_7 = i (\rho_{s\alpha_N, T_0\alpha_N} - \rho_{T_0\alpha_N, s\alpha_N});$$

$$x_8 = \frac{1}{2} (\rho_{s\alpha_N, T_+\beta_N} + \rho_{T_+\beta_N, s\alpha_N}); \quad x_9 = \frac{i}{2} (\rho_{s\alpha_N, T_+\beta_N} - \rho_{T_+\beta_N, s\alpha_N});$$

$$\delta = \frac{|A| \cdot T_D}{2}; \quad \tau_D = \frac{r_0^2}{D}; \quad J = \frac{J_0}{4\pi r_0 D}; \quad q = \frac{1}{K\tau_p}; \quad \tau_p = \frac{ar_0}{D}.$$

Как видно из (6), для расчета вероятности рекомбинации с α -проекцией ядерного спина достаточно из системы уравнений (9) найти величину x_1 . Решение этой системы для x_1 и последующий расчет вероятности рекомбинации p_α для исходного синглетного предшественника РП ($\gamma_s = 1/2$, $\gamma_T = 0$) приводят к следующему результату:

$$p_\alpha = \frac{1/2}{1+q\Gamma},$$

где

$$\Gamma = 1 + \frac{3\delta \left(4J^2 + 1 + \frac{1}{2q} + 2\delta \right)}{8 + 3\delta \left(4J^2 + 1 + \frac{1}{2q} \right)^2 + 2\delta \left(2\delta + 8J + 1 + \frac{1}{2q} \right) + 5 + 4\delta} \quad (10)$$

Аналитическое рассмотрение подгруппы с $M_z = -\frac{1}{2}$ для вероятности рекомбинации РП с β -проекцией ядерного спина дает такой же результат:

$$p_\beta = p_\alpha.$$

Поэтому полная вероятность рекомбинации РП с одним магнитным ядром со спином $I = \frac{1}{2}$ равна $p = p_\alpha + p_\beta = 2 p_\alpha$ или $p = \frac{1}{1+q\Gamma}$. (11)

Используя точное решение (11) задачи, рассмотрим некоторые частные случаи.

1. Обменное взаимодействие отсутствует: $J = 0$.

В этом случае функция Γ принимает вид:

$$\Gamma = 1 + \frac{3\delta \left(1 + \frac{1}{2q} + \frac{1}{2q} + 2q \right)}{8 + 3\delta \left(1 + \frac{1}{2q} \right)^2 + 2\delta \left(2\delta + 1 + \frac{1}{2q} \right) + 5 + 4\delta}. \quad (12)$$

2. Сильное обменное взаимодействие: $J \rightarrow \infty$.

В этом случае функция Γ принимает вид $\Gamma = 1 + \frac{3\delta}{8+3\delta}$ и вероятность рекомбинации равна

$$p = \frac{1}{1+q\cdot\Gamma} = \frac{1}{1+q \cdot 1 + \frac{3\delta}{8+3\delta}} = \frac{8+3\delta}{1+q \cdot 8+3q+3q\delta} \quad (13)$$

Следует отметить, что точно такой же результат [2] для p получается, если вместо граничного условия $D \cdot \frac{\partial \rho_{ST}(r)}{\partial r} \Big|_{r_0} = \frac{K}{2} a \rho_{ST} r_0$

использовать более простое граничное условие $\rho_{ST} r_0 = 0$.

График зависимости p от J при значениях $q=0,1$ и $\delta=1$ представлен на рис. 1.

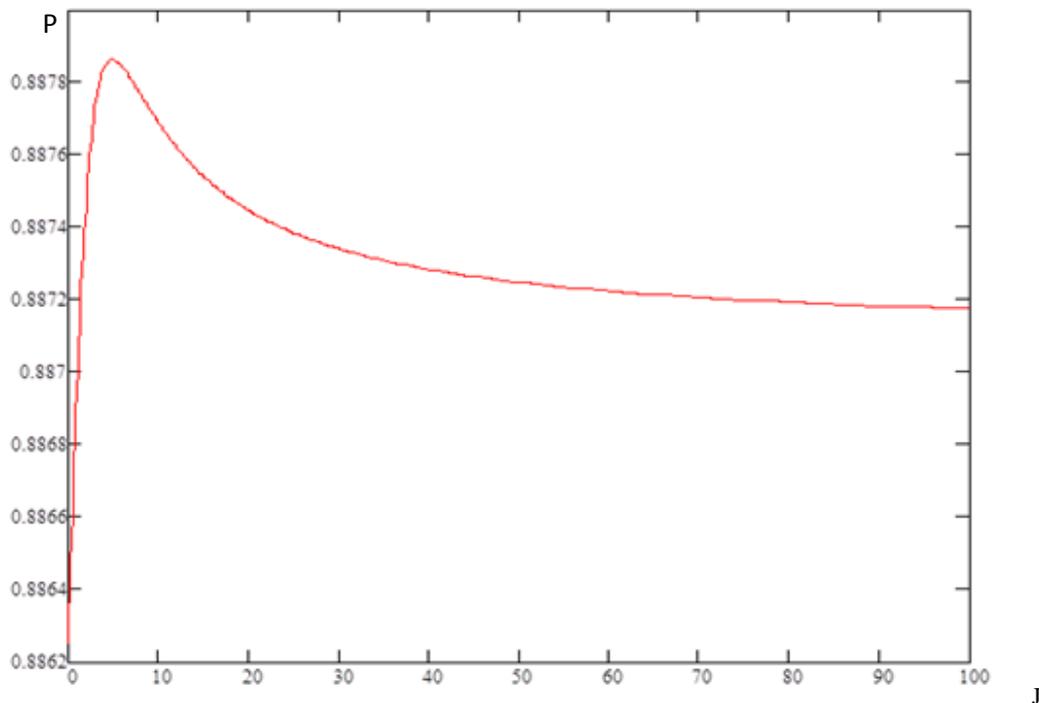


Рис. 1. Зависимость вероятности рекомбинации РП от обменного взаимодействия

Как видно из рис.1, вероятность рекомбинации при малых значениях J увеличивается линейным образом, проходит через экстремум и далее монотонно уменьшается до значения $p(J \rightarrow \infty) > p(J = 0)$.

Результаты работы:

1. В рамках диффузионной модели рекомбинации получено точное аналитическое решение задачи расчета вероятности рекомбинации РП с одним магнитным ядром со спином $I = \frac{1}{2}$ в нулевом магнитном поле с учетом δ -образного обменного взаимодействия.

2. Показано, что влияние обменного взаимодействия на вероятность рекомбинации радикалов имеет экстремальный характер. В целом оно увеличивает вероятность рекомбинации исходных синглетных РП по причине расщепления уровней S и T и уменьшения эффективности S-T переходов.

3. Показано, что сильное обменное взаимодействие в реакционной зоне можно учитывать через граничное условие $\rho_{ST} r_0$.

Литература

1. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях / А.Л. Бучаченко, Р.З. Сагдеев, К.М. Салихов. – Новосибирск: Наука, 1978. – 296 с.

2. Диффузионная теория рекомбинации РП в нулевом магнитном поле / Ф.С. Сарваров, В.В. Гришкин, Ф.Ф. Рамазанов // Проектирование и исследование технических систем. Вып. 5 (19). – Набережные Челны, 2012. – С. 21-29.

Тазмеев Х.К.,

канд. техн. наук, доцент,

Тазмеев А.Х.,

канд. хим. наук, доцент,

Исследование газового разряда с привязкой к водному раствору хлорида натрия

Введение

При использовании жидкого электролита в качестве катода плазма образуется преимущественно из жидкофазного вещества. Свойства плазмы и характеристики газового разряда напрямую зависят от химического состава электролита, что подтверждается целым рядом экспериментальных исследований, проведенных с различными электролитами в широком диапазоне изменения тока, межэлектродного расстояния и других параметров [1-5]. Варьированием состава электролита можно получить плазму, содержащую разные химически активные компоненты. Целью данной работы явилось изучение характеристик газового разряда с жидким электролитным катодом при возникновении контрагированных каналов, которые служат дополнительными

источниками химически активных частиц, таких как возбужденные атомы, ионы и электроны.

Эксперимент

Экспериментальная установка схематично изображена на рис. 1. В качестве электролита использовались растворы поваренной соли в дистиллированной воде. Электролит вытекал из емкости 1 в форме цилиндра диаметром $D = 75$ мм в вертикальном направлении вверх (рис. 1). Токосводящим элементом служила графитовая пластина 2, размещенная внутри цилиндра.

Разряд горел между электролитом 3 и медным анодом 4, охлаждаемым водопроводной водой. Длина l разрядного промежутка устанавливалась в пределах от 30 до 60 мм. На графитовую пластину и анод подавалось напряжение от трехфазного двухполупериодного выпрямителя с выходным напряжением 3200 В. Пульсации напряжения сглаживались индуктивно-емкостным фильтром. Регулирование разрядного тока осуществлялось ступенчатым изменением балластного резистора, включенного в цепь электрического питания.

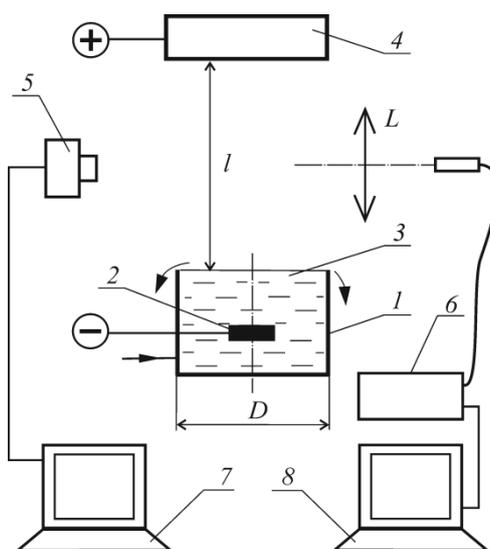


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Концентрация C и удельная электрическая проводимость электролита σ измерялись кондуктометром АНИОН 4150. Ток I и напряжение U , подаваемое на пластину 2 и анод 4, регистрировались осциллографом АКПП-15/1. Мгновенные изображения разряда фотографировались скоростной камерой ВИДЕОСКАН-415.

Спектры излучения фиксировались быстродействующим оптоволоконным спектрометром AvaSpec-3648 в диапазоне длин волн 484-708 нм с разрешением 0,15 нм (дифракционная решетка 1200 штрихов/мм, входная оптическая щель 10 мкм). Изображение плазменного столба с помощью собирающей линзы L проецировалось целиком на вход оптоволоконного кабеля. Скоростная видеокамера камера 5 и спектрометр 6 были функционально связаны с компьютерами 7 и 8.

Результаты и их обсуждение

Возникновению контрагированных каналов в разрядной области способствовало уменьшение концентрации (соответственно, удельной электрической проводимости) электролита. На рис. 2 представлены фотографии, снятые в моменты появления таких каналов.

На общем виде газового разряда, который сфотографирован с максимально открытой диафрагмой, контрагированный канал выделяется как яркий участок (рис. 2, левое фото). Кадры, снятые с прикрытой диафрагмой, позволили раскрыть световую гамму изображений. Стало видно, что в отличие от желтого фона, создаваемого излучением натрия, контрагированные каналы выделяются окраской в светло-красный цвет.

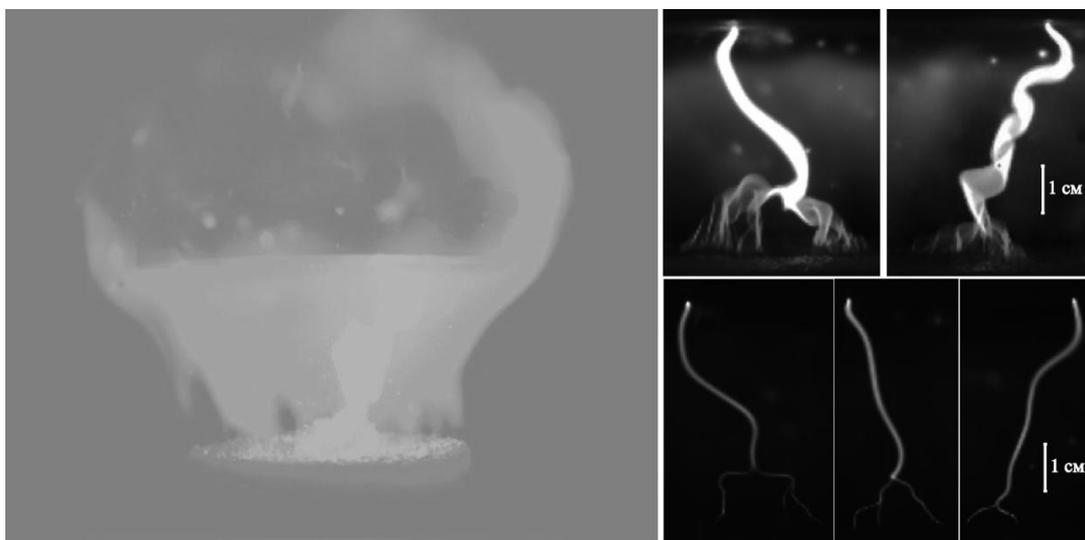


Рис. 2. Общий вид газового разряда (левое фото) и контрагированные каналы:
 $I = 12 \pm 0,5$ А, $l = 5$ см, $\sigma = 2,0 \pm 0,1$ мСм/см ($C = 1,0 \pm 0,1$ г/л), экспозиция 196 мкс
 (верхний ряд справа) и 3 мкс (нижний ряд справа)

При этом изображение контрагированного канала получается в виде сложных извилистых фигур с разветвлениями, опирающимися на поверхность электролита (рис. 2, верхний ряд справа). В кадрах, снятых с меньшей экспозицией, наблюдалась одинаковая окраска по всей длине

контрагированного канала. Из монотонности окраски следует, что в канале численно преобладают возбужденные частицы одного сорта. Наиболее вероятными кандидатами на роль таких частиц являются атомы водорода, поскольку газообразный водород выделяется в катодных процессах электролиза и поступает в область разряда.

Фотоснимки, представленные на правом верхнем и нижнем рядах рис. 2, выполнены с экспозициями, отличающимися более чем в 60 раз. Сравнивая их, можно сделать вывод, что сложные причудливые изображения контрагированных каналов (на кадрах с бóльшей экспозицией) образуются наложением друг на друга более простых фигур (на кадрах с меньшей экспозицией).

Наличие излучающих атомов водорода подтверждается результатами спектральных исследований. В спектре излучения газового разряда проявились бальмеровские линии водорода H_α и H_β . В момент появления контрагированных каналов линия H_α получалась намного интенсивнее желтой D-линии натрия (рис. 3).

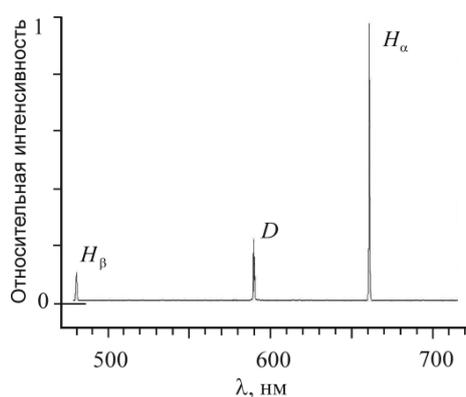


Рис. 3. Спектр излучения газового разряда

Поскольку возникновение и исчезновение контрагированных каналов происходило практически мгновенно, спектры регистрировались без усреднения с минимальным временем интегрирования в режиме максимального быстродействия спектрометра. В частности, для спектра, приведенного на рис. 3 в качестве примерного, время интегрирования составило 0,25 мс.

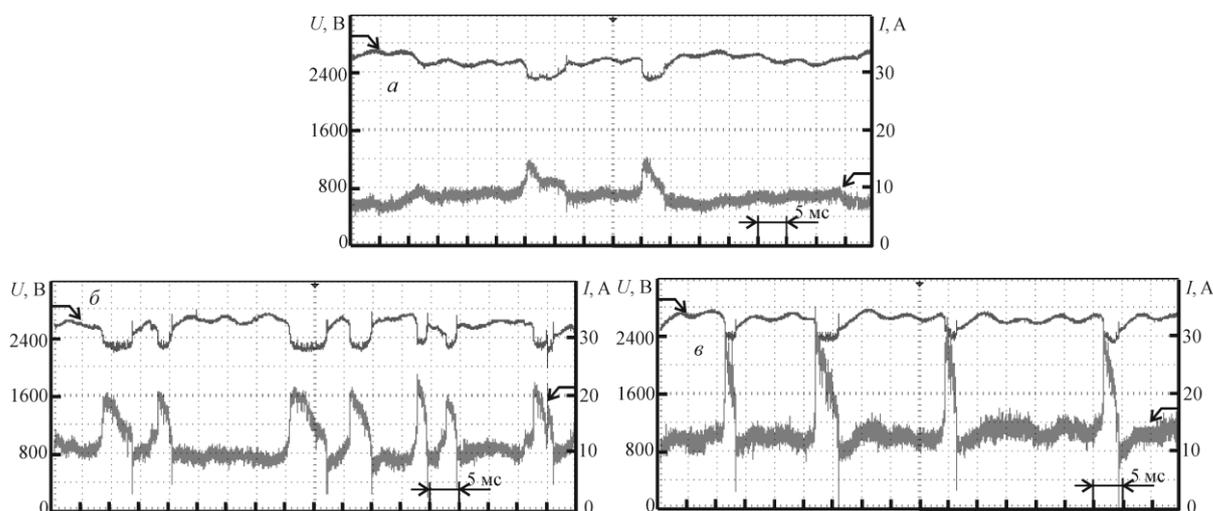


Рис. 4. Осциллограммы токов и напряжений:

$l = 5 \text{ см}$, $\sigma = 2,4 \pm 0,1 \text{ мСм/см}$ ($C = 1,2 \pm 0,1 \text{ г/л}$), $a - R_{\text{балл}} = 52,5 \text{ Ом}$, $б - 34$, $в - 14,5$

Осциллограммы тока и напряжения позволяют определить продолжительность существования Δt отдельных каналов, а также частоту их возникновения. На примере осциллограмм, представленных на рис. 4, видно, что среднее значение Δt измеряется в миллисекундах и находится в пределах от 2 до 8 мс.

Как следует из осциллограмм, параметры контрагированных каналов существенно изменяются при уменьшении балластного сопротивления. Они возникают чаще, и максимальный ток через единичный канал возрастает. При этом в изменении Δt какие-либо закономерности в явном виде не обнаруживаются. В моменты возникновения контрагированных каналов напряжение U , регистрируемое между анодом и токоподводящей графитовой пластиной, снижается.

Увеличение тока происходит потому, что при возникновении контрагированного канала уменьшается электрическое сопротивление разрядной области, соответственно, и общее сопротивление электрической цепи. По этой же причине, т.е. из-за снижения общего электрического сопротивления, растет максимальное значение тока в контрагированном канале при уменьшении балластного сопротивления $R_{\text{балл}}$.

Наличие в спектре излучения бальмеровских линий водорода дает возможность оценить электронную температуру T_e плазмы в контрагированном канале. В качестве примера ниже представлены значения T_e , рассчитанные по методу относительных интенсивностей. Используются спектры излучения газового разряда при условиях: $l = 5 \text{ см}$, $\sigma = 2,4 \pm 0,1 \text{ мСм/см}$ ($C = 1,2 \pm 0,1 \text{ г/л}$).

Электронная температура T_e

$\tau_{\text{инт}}$, мс	T_e , К				
	1	2	3	4	5
0,12	4926	4980	5039	5178	5468
0,25	4209	4500	5091	5367	5677
0,50	4993	5039	5340	5747	6282
1,00	4298	5059	5607	5835	6451

Расчетные значения T_e колеблются в значительно широком интервале. По-видимому, причиной такого разброса значений T_e является то, что интегрирование сигнала спектрометром не всегда совпадает во времени с моментом достижения максимума разрядного тока. Согласно расчетным данным, максимальное значение температуры в контрагированном канале находится в пределах 5500 – 6500 К.

Выводы

Опыты показали, что газовый разряд горит в режиме возникновения контрагированных каналов непрерывно без ограничений во времени. При этом мощность, выделяемая в разряде, находится в пределах десятков киловатт. Таким образом, установлены режимы горения, которые могут расширить возможности применения газового разряда с жидким электролитным катодом в энергоемких технологиях.

Литература

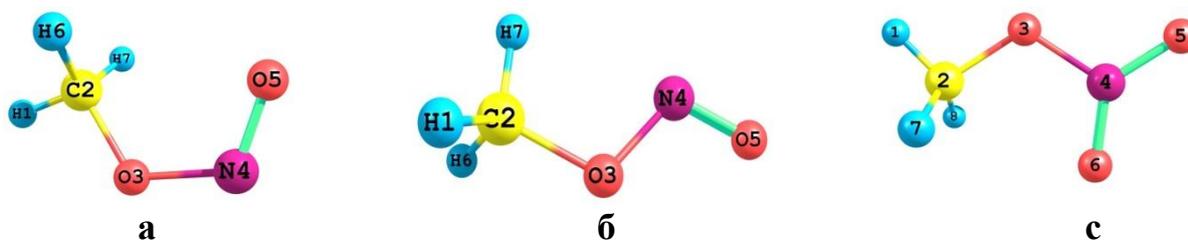
1. Слугинов Н.П. // Журн. Русск. физ.-хим. об-ва. – 1878. – Т. 10, вып. 8: Физика. Ч. 2. – С. 241.
2. Webb M.R., Andrade F.J., Gamez G., McCrindle R., Niefert G.M. // J. Anal. At. Spektrom. 2005. Vol. 20, p. 1218.
3. // Химия высоких энергий / А.И. Максимов, А.В. Хлюстова, 2009. – Т. 43, №3. – С.195.
4. Bruggeman P., Leys C. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2009. Vol. 42, N 5. P. 053001.
5. Известия высших учебных заведений / Е.С. Бобкова, В.И. Гриневиц, А.А Исакина., В.В. Рыбкин. – 2011. – Т. 54, №6. – С. 3.(Серия: Химия и хим. технол.)

Шайхуллина Р.М.,
Сарваров Ф.С.,
Набережночелнинский институт (филиал)
Казанского Приволжского федерального
университета г. Набережные Челны
Храпковский Г.М.,
Казанский государственный
технологический университет, г. Казань

Теоретические исследования молекулярной структуры и колебательного спектра алифатических нитратов

Теоретические исследования на основе методов квантовой химии в последние годы широко используются для изучения строения, молекулярных спектров и реакционной способности нитросоединений [1-5]. Простейшими представителями алифатических азотсодержащих соединений являются *метилнитрит (МНИ)* и *метилнитрат (МНА)*. Эти молекулы могут быть использованы в качестве удобных модельных соединений при интерпретации колебательных спектров более сложных, практически важных нитросоединений, в частности, нитратов целлюлозы.

В нашей работе представлены данные теоретического анализа



**Рис. 1. Оптимизированные структуры *цис*- (а) и *транс*- (б)
конформеров метилнитрита, *транс*-конформера метилнитрата (в)
(с указанием нумерации атомов)**

структуры и колебательных спектров *МНИ* и *МНА* (рис.1) в рамках метода теории функционала плотности *B3LYP* в базисе *6-31G(d)* и *6-311++G(df,p)*. На начальной стадии расчетов определяли энергетически наиболее выгодные структуры. Для этого были проведены расчеты поверхности потенциальной энергии молекул сканированием выбранных координат – двугранных углов вокруг связей C-O и N-O (рис.1) с шагом 30° .

Минимальным значениям энергии соответствуют наиболее устойчивые конформации молекулы. Для метилнитрата характерна одна устойчивая *транс*-форма. При этом атомы С(2), О(3), N(4) лежат в одной плоскости, один атом Н(1) находится в *транс*-положении относительной связи N-O, два других атома Н(7,8) – в *gаш*-ориентации к ближайшему атому кислорода. Плоское строение фрагмента C-O-NO₂ и возможность реализации единственной конформации подтверждается и результатами более ранних работ [6,7]. Для метилнитрита характерны две конформации: *цис*- и *транс*-формы. После оптимизации геометрии молекул были проведены расчеты частот и форм нормальных колебаний, которые хорошо согласуются с известными экспериментальными данными [5-11].

Табл. 1

Экспериментальные и рассчитанные частоты и интенсивности метилнитрита

Отнесения ^{а,б}	Эксперимент [4,5]								
	<i>цис</i> -форма			<i>цис</i> -форма		<i>транс</i> -форма			
	B3LYP-2	B3LYP-2 ^с		B3LYP-2	B3LYP-2 ^с	матрица аргона	газ	матрица аргона	газ
	ν, см ⁻¹			I ^с	ν, см ⁻¹		ν, см ⁻¹		
ν 15 (A ⁺) ν _{ас} CH ₃	3164	3067	0.0296	3119	3024	3031	3040	3002	3040
ν 14 (A ⁺) ν _{ас} CH ₃	3112	3016	0.0933	3118	3023	3002	3000	3002	3000
ν 13 (A ⁺) ν _с CH ₃	3042	2949	0.0713	3037	2944	2952	2957	2952	2943
ν 12 (A ⁺) ν N=O	1682	1630	1.0000	1754	1700	1613	1620	1665	1678
ν 11 (A ⁺) δ _{ас} CH ₃	1484	1452	0.0387	1500	1467	1455	1450	1467	1460
ν 10 (A ⁺) δ _{ас} CH ₃	1469	1434	0.0588	1476	1442	1438	1446	1447	1446
ν 9 (A ⁺) δ _с CH ₃	1438	1419	0.0120	1454	1434	1408	1411	1424	1423
ν 8 (A ⁺) γCH ₃	1182	1161	0.0010	1198	1188	1141	1171	1180	1208
ν 7 (A ⁺) γCH ₃	1149	1147	0.0047	1165	1162	---	1140	1132	1156
ν 6 (A ⁺) νC-O	991	984	0.5808	1062	1051	994	991	1043	1048
ν 5 (A ⁺) ν(N-O), δ(O-N=O)	853	832	0.3720	824	810	838	836	807	812
ν 4 (A ⁺) δ(O-N=O), δ(C-O-N)	657	645	0.8035	578	556	625	623	565	567
ν 3 (A ⁺) τ(N-O)	363	363	0.0139	368	321	351	377	370	340
ν 2 (A ⁺) δ(O-N=O)	340	295	0.0089	223	223	351	249	213	213
ν 1 (A ⁺) τ(C-O)	173	173	0.0006	95	95	186	186	105	---

^а A⁺ и A⁺ – виды симметрии

^б ν – валентные (bond stretching); δ – деформационные (bending); γ – маятниковые (rocking),

τ – торсионные (torsion); as – асимметричные, s – симметричные.

^с Рассчитанные частоты после масштабирования силовых постоянных.

^с Интенсивности нормализованы по отношению к максимальной.

Табл. 2

Экспериментальные и рассчитанные *B3LYP/6-31-G(d)* частоты и распределение потенциальной энергии метилнитрата (исходные и масштабированные значения). Нумерация атомов согласно рис. 1

Отнесения ^{a,б}		Расчет			Эксперимент [8-11]		
		Частоты (ν , cm^{-1})		$I^{\text{д}}$	газ	жид- кость	матри- ца N_2
Распределение потенциальной энергии, %		ϵ	ζ				
ν 18 (A')	$\nu_{\text{as}} \text{CH}_3 - \nu(\text{C-H1})$ [76]	3182	3020	0.0174	3008	3040	3029
ν 17 (A'')	$\nu_{\text{as}} \text{CH}_3 - \nu(\text{C-H7})$ [49], $\nu(\text{C-H8})$ [49]	3164	3002	0.0462	3008	3040	3029
ν 16 (A')	$\nu_{\text{s}} \text{CH}_3 - \nu(\text{C-H8})$ [38], $\nu(\text{C-H7})$ [38], $\nu(\text{C-H1})$ [23]	3079	2921	0.0415	2941	2967	2962
ν 15 (A')	$\nu_{\text{as}} \text{NO}_2 - \nu(\text{N=O5})$ [50], $\nu(\text{N=O6})$ [40]	1759	1676	1.0000	1678	1634	1656
ν 14 (A')	$\delta_{\text{as}} \text{CH}_3 - \delta(\text{H7CH8})$ [62], $\delta(\text{H7CO})$ [17], $\delta(\text{H8CO})$ [16]	1524	1466	0.0217	1468	1458	1465
ν 13 (A'')	$\delta_{\text{as}} \text{CH}_3 - \delta(\text{H1CH8})$ [72]	1501	1456	0.0223	1455	-	1440
ν 12 (A')	$\delta_{\text{s}} \text{CH}_3 - \delta(\text{H1CH7})$ [62], $\delta(\text{H1CO})$ [15]	1482	1422	0.0543	1430	1429	1434
ν 11 (A')	$\nu_{\text{s}} \text{NO}_2 - \nu(\text{N=O5})$ [46], $\nu(\text{N=O6})$ [32]	1348	1285	0.5984	1287	1282	1291
ν 10 (A')	$r \text{CH}_3 - \delta(\text{OCH7})$ [45], $\delta(\text{OCH8})$ [44]	1199	1175	0.0059	1176	1174	1177
ν 9 (A'')	$r \text{CH}_3 - \delta(\text{OCH1})$ [56]	1178	1158	0.0021	1136	1150	1150
ν 8 (A')	$\nu(\text{C-O})$ [76]	1036	1011	0.2679	1017	993	1004
ν 7 (A')	$\nu(\text{N-O}) - \nu(\text{N-O})$ [43], $\delta(\text{O=N=O})$ [32]	873	862	0.4688	884	859	858
ν 6 (A'')	$\gamma(\text{NO}_2)$ [98]	765	765	0.0496	758	759	763
ν 5 (A')	$\delta(\text{C-O-N})$ [30], $\nu(\text{N-O})$ [29], $\delta(\text{O-N=O6})$ [16]	667	660	0.0546	657	662	662
ν 4 (A')	$r(\text{NO}_2) - \nu(\text{NO})$ [51], $\delta(\text{O-N=O5})$ [20], $\nu(\text{CO})$ [15]	575	567	0.0056	578	577	610
ν 3 (A')	$\delta(\text{C-O-N})$ [75]	342	341	0.0087	340	-	362
ν 2 (A'')	$\tau(\text{C-O})$ [91]	204	204	0.0033	205[11]	-	-
ν 1 (A'')	$\tau(\text{N-O})$ [96]	145	145	0.0052	134[11]	-	-

^a A' и A'' – виды симметрии

^б ν – валентные (bond stretching); δ – деформационные (bending); r – маятниковые (rocking), γ - неплоские, τ – торсионные (torsion) колебания; as – асимметричные, s – симметричные;

^в вычисленные частоты

^г вычисленные частоты после применения процедуры масштабирования.

^д интенсивности нормализованы по отношению к максимальной.

Литература

1. Шляпочников В.А. Колебательные спектры алифатических нитросоединений. – М.: Наука, **1989**. – 134с.
2. Структура и колебательные спектры моонитроалканов / В.А. Шляпочников, Г.М. Храпковский, А.Г. Шамов // *Изв. АН Серия «Химия»*. – **2002**. – №6. – С.863-870.
3. Квантово-химическое изучение молекулярной структуры и колебательных спектров метилнитрита / Р.М. Шайхуллина, Г.М. Храпковский, Е.Е.Зверева, Е.А. Мазиллов // *Бутлеровские сообщения*. – 2010. – Т.19. – №3. – С.41-51.
4. Stidham H.D., Guirgis G.A., B. J. van der Veken, Sheehan T.G., Durig J.R. *Journal of Raman Spectroscopy*. **1990**. Vol.21. P.615-628.
5. Benjamin J. van der Veken, Maas R., Guirgis G.A., Stidham H.D., Sheehan T.G., Durig J.R. Infrared Spectrum, ab Initio Calculations, Barriers to Internal rotation and Structural Parameters for Methyl Nitrite. *J. Phys.Chem.* **1990**. Vol.94. P.4029-4039.
6. Теоретическое и экспериментальное исследование частот и абсолютных интенсивностей полос в ИК спектре метилнитрата / М.В. Королевич, В.В. Сивчик, Р.Г. Жбанков, В.А. Ласточкина // *Журнал прикладной спектроскопии*. – 1986. – Т.XLV. – №6. – С.945-951.
7. Ch.W.Bock, Krasnoshchiokov S.V.,KhristenkoL.V., Panchenko Y.N., Pentin Y.A. Ab initio analysis of structure and vibrational spectrum of methyl nitrate. *Chem.Phys.* 106.,1985. P.69-73.
8. Brand J. C.D., Cawthon T.M. The Vibrational Spectrum of Methyl Nitrate. *J. Am. Chem. Soc.* **1955**. Vol.77. P.319-324.
9. Lannon J.A., Harris L.E., Verderame F.D., Thomas W.G., Lucia E.A., Koniers S. Infrared Spectra and Intermolecular Potentials of Matrix Isolated Methyl Nitrate and Methyl-d₃-Nitrate. *J. of Molecular Spectr.* **1974**. Vol.50. P.68 -81.
10. Bock Ch.W., Krasnoshchiokov S.V., Khristenko L.V., Panchenko Yu. N., Pentin Yu. A. Ab Initio Analysis of Structure and Vibrational spectrum of methyl nitrate. *Chem. Phys.* **1985**. Vol.106. P.69-73.
11. Van der Veken B. J., Guirgis G.A., Durig J.R. Far Infrared Spectra of Methyl Nitrate and Methyl-d₃-Nitrate. *J. Mol. Struct.* **1986**. Vol.142. P.105-110.

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки.....	3
Секция «Разработка и исследование перспективных материалов и технологий их обработки».....	3
Секция «Инфокоммуникационные системы и моделирование процессов».....	97
Секция «Транспортные системы и технологии».....	143
Секция «Энергетика, энергоресурсосберегающие техника и технологии».....	201
Секция «Экологическая и техносферная безопасность».....	218
Секция «Актуальные проблемы математики и физики».....	238