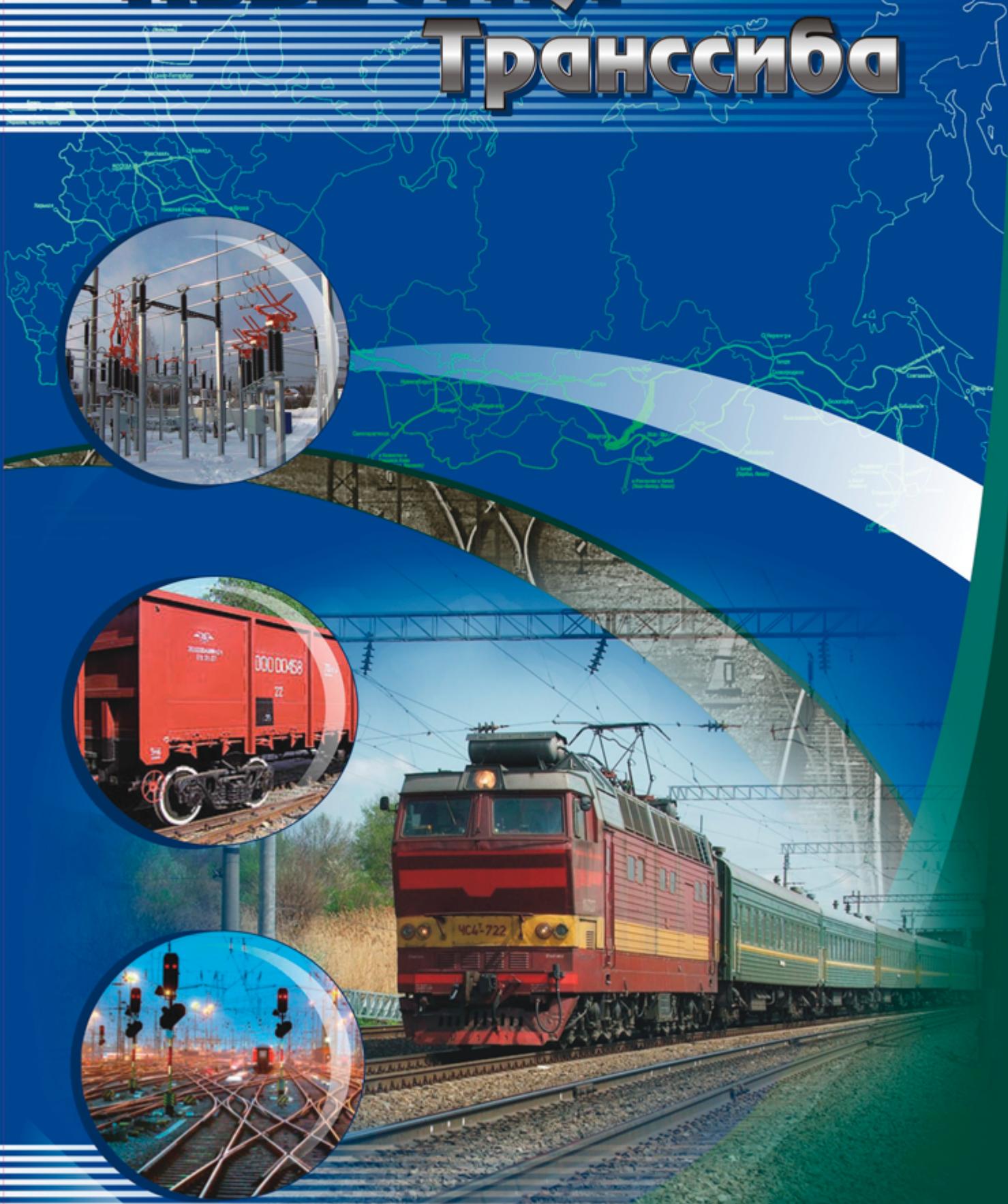


научно-технический

журнал

ИЗВЕСТИЯ Транссиба

№ 2(2)
2010



**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ
ЖУРНАЛА**

- 1. Галиев Ильхам Исламович** – главный редактор, президент ОмГУПСа, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ.
- 2. Черемисин Василий Титович** – зам. главного редактора, проректор по научной работе и инновациям ОмГУПСа, д.т.н., профессор.
- 3. Володин Александр Иванович** – первый проректор ОмГУПСа, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ.
- 4. Бокарев Сергей Александрович** – проректор по научной работе СГУПСа, д.т.н., профессор (Новосибирск).
- 5. Завьялов Александр Михайлович** – проректор по научной работе СибАДИ, д.т.н., профессор (Омск).
- 6. Каргапольцев Сергей Константинович** – проректор по научной работе ИрГУПСа, д.т.н., профессор (Иркутск).
- 7. Косарев Александр Борисович** – зам. генерального директора ОАО «ВНИИЖТ», д.т.н., профессор (Москва).
- 8. Косых Анатолий Владимирович** – проректор по научной работе ОмГТУ, д.т.н., профессор (Омск).
- 9. Серенко Андрей Федорович** – проректор по научной работе ДВГУПСа, д.т.н., доцент (Хабаровск).
- 10. Чугуй Юрий Васильевич** – зав. лабораторией конструкторско-технологического института научного приборостроения СО РАН, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ (Новосибирск).
- 11. Шантаренко Сергей Георгиевич** – д.т.н., начальник НИЧ ОмГУПСа (Омск).
- Комякова Ольга Олеговна** – ответственный секретарь, к.т.н., доцент ОмГУПСа (Омск).

СОДЕРЖАНИЕ

Подвижной состав железных дорог

Авилов В. Д., Петров П. Г., Моисеенок Е. М. К вопросу о повышении коммутационной устойчивости коллекторных машин постоянного тока	2
Ахмеджанов Р. А., Кашка В. С., Тихонов А. В. Исследование путей и разработка средств автоматизированного магнитопорошкового контроля колесных пар	7
Бородин А.В., Кулинич Е. Н., Иванова Ю. А. Усовершенствование роликовой буксы грузового вагона	15
Володин А. И., Сквородников Е. И., Анисимов А. С. Оценка адекватности математической модели теплового расчета дизеля методом Вибе	20
Кузнецов А. А., Глазырин А. В., Шахов А. В. Инновационные технологии в автоматизированных системах контроля качества материалов на транспорте и в промышленности	27
Михеев В. А. Представление граф-моделью функциональных систем тепловозного дизеля	36
Ражковский А. А., Петракова А. Г., Бунькова Т. Г. Технологический процесс контроля качества продукции при ремонте подвижного состава	42
Сквородников Е. И., Тарута М. В., Гришина Ю. Б. Анализ качества функционирования системы экологического мониторинга дизельного подвижного состава в условиях эксплуатации	48
Чегодаев Ф. В. Установка для ремонта коллекторов тяговых двигателей	54

Транспортная энергетика

Ведрученко В. Р., Крайнов В. В., Кульков М. В. Расчет теплообмена в топке котлоагрегата при условии сброса в нее отработавших газов газотурбинного двигателя	59
Глухов С. В., Лебедев В. М. Исследование степени эффективности внедрения автоматического регулирования в отопительных системах	64
Каштанов А. Л., Комяков А. А., Норкин И. Ю. Автоматизированный программный комплекс по контролю и управлению электропотреблением в границах железнодорожного узла по данным АСКУЭ	71
Тарута П. В., Карабанов М. А. Экспериментальная оценка величины провала напряжения при подключении резервного выпрямительного агрегата	76

Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

Грищутенко С. С. Адекватность использования аналогий в цифровой обработке сигналов	80
Лутченко С. С., Копытов Е. Ю. Моделирование процессов технического обслуживания радиостанций в среде ANYLOGIC	86

Путь и искусственные сооружения

Поздеев В. В. Повышение степени защиты крупных железнодорожных узлов	92
--	----

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

Бакланов А. А., Мельк В. О., Раздобаров А. В. Повышение эксплуатационной эффективности и надежности электроподвижного состава на Транссибирской магистрали	97
Корнеев М. В., Хорунжин С. Ю. Совершенствование условий перевозок металлопродукции железнодорожным транспортом	101
Нехаев В. А., Николаев В. А., Смалев А. Н. Исследование движения необressоренных масс по пути со случайной геометрической неровностью рельса	106

Организация производства на транспорте

Смирнов В. А., Кузнецов В. Ф., Семенов А. М. Аутсорсинг диагностирования подвижного состава	113
Черемисин В. Т., Никифоров М. М. Основные направления реализации федерального закона № 261-ФЗ от 23.11.09 «Об энергосбережении...» в холдинге «Российские железные дороги»	119
АННОТАЦИИ	124

Подвижной состав железных дорог

УДК 621.313

В. Д. Авилов, П. Г. Петров, Е. М. Моисеенок

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КОММУТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Эффективность и надежная работа тягового подвижного состава во многом зависят от надежности их тяговых двигателей и вспомогательных электрических машин. Ожидаемое увеличение объемов перевозок и увеличение интенсивности движения потребуют серьезного пересмотра технологической культуры ремонта и эксплуатации электрических машин тягового подвижного состава.

Проблема повышения устойчивости работы скользящего токосъема очевидно останется актуальной и в ближайшие десятилетия. Несмотря на значительные успехи в электромеханике по замене коллекторных машин на бесколлекторные мощные тяговые двигатели остаются коллекторными. Это подтверждается заказом на новые электровозы от ОАО «РЖД» на ближайшие годы. Эти электровозы будут эксплуатироваться еще 20 – 30 лет. С учетом намечающегося увеличения объемов перевозок, повышения скоростей движения и веса состава появится необходимость в серьезном ужесточении требований к надежности работы коллекторно-щеточного узла тяговых двигателей.

Многолетний опыт коллектива кафедры «Электрические машины и общая электротехника» в области исследования условий работы коллекторно-щеточного узла (КЩУ) электрических машин, по созданию приборов и устройств для оценки уровня искрения и профилометров для оценки механического состояния коллекторов, изучение работы электрических щеток, создание методов настройки коммутации как тяговых двигателей подвижного состава, так и двигателей прокатных станов и экскаваторов, а также специальных электрических машин указывает на то, что многие проблемы, возникающие при работе КЩУ, являются результатом нарушения технологии ремонта и неправильных действий человека.

Наглядным примером встречающегося нарушения технологии ремонта являются, например, увеличение биения коллектора после ремонта тягового электрического двигателя (ТЭД); возникновение асимметрии после сборки магнитной системы ТЭД; наличие несоответствующих прокладок под добавочными полюсами; значительная разность в усилиях нажатия на щетки; случаи выпуска ТЭД из ремонта без проверки на испытательной станции. Результат этих нарушений проявляется на коллекторе электрической машины в виде искрения щеток, подгора коллектора, повышенного износа контактной пары, предрасположенности к круговым огням и т. д.

Для выявления причин неудовлетворительных условий коммутации ТЭД необходима должным образом оборудованная испытательная станция, которая может быть выполнена как на машинных агрегатах, так и на статических преобразователях, занимающих меньшую площадь и автоматизирующих процессы самих испытаний. Для исключения влияния человеческого фактора на результаты испытаний необходимо использовать полностью автоматизированные испытательные станции. Кроме того, результаты испытания должны быть представлены в виде протокола на ЭВМ. Внедряемые в настоящее время испытательные станции должны дополнительно быть оборудованы приборами и устройствами по оценке уровня искрения в соответствии с ГОСТ 183-74, а также системой подпитки добавочных полюсов. Удорожание стенда не превысит 10 %, а его возможности по оценке и настройке условий коммутации ТЭД при этом значительно расширяются. Это позволит проводить исследования и настройку коммутации на весьма высоком уровне. По мнению авторов, в такой комплектации должны оборудоваться все испытательные станции ремонтных заводов Желдорреммаша и базовые локомотивные ремонтные депо всех железных дорог. Стенды для обкатки ТЭД на холостом ходу должны оборудоваться профилометрами, позволяющими оценивать фактиче-

Подвижной состав железных дорог

ское биение коллектора и перепад между пластинами коллектора. Последний параметр имеет определяющее значение при формировании условий работы КЩУ.

На коммутационный процесс в обмотке машины постоянного тока оказывает влияние большое количество факторов: величина и скорость изменения тока якоря, температура коллектора, скорость вращения якоря, условия окружающей среды, усилие нажатия на щетку, внешние воздействия, собственные вибрации элементов КЩУ и многие другие. Влияние всех возможных факторов в условиях эксплуатации может определить только интегральный параметр – это минимум износа контактной пары [1]:

$$V = \gamma \cdot q = \gamma \sum_{i=1}^N q_i = \gamma \frac{L_p}{2U_d} \sum_{i=1}^N i_{pi}^2 = \gamma \cdot \frac{U_d}{2L_p} \sum_{i=1}^N \tau_{di}^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где γ – постоянная материала;

q – количество электричества, прошедшее через дуговой разряд;

i_p – ток разрыва;

τ_d – длительность дугового разряда;

$1 \leq i \leq N$ – общее число дуговых разрядов;

U_d – напряжение дуги;

L_p – индуктивность секции на завершающем этапе коммутации.

Критерием оптимальности настройки коммутации является минимальный объем материала контактной пары, вынесенный дуговыми разрядами на сбегающем крае щетки (1).

Формула (1) указывает на то, что уровень искрения характеризуется такими параметрами, как ток разрыва i_p секции или длительностью дугового разряда τ_d . Следовательно, любые устройства или приборы, показания которых имеют однозначную связь с этими параметрами, могут быть использованы для оценки уровня искрения и настройки коммутации.

Формула (1) в приборной реализации может быть представлена выражением:

$$\sum_{j=1}^x \int_0^{T_j} A_j dt \rightarrow \min, \quad (2)$$

где A_j – показания прибора на определенном режиме работы;

T_j – длительность режима;

x – число режимов в цикле.

Условие (2) определяет минимальный суммарный уровень искрения за определенный период работы машины или технологический цикл ее нагрузки при оптимальных условиях коммутации.

На испытательной станции нагрузка является стационарной и условие (2) сводится к равенству:

$$A_{pk} = A_{hk}, \quad (3)$$

где A_{pk} и A_{hk} – показания прибора от пере- и недокоммутации.

Из приведенного равенства (3) следует, что абсолютное значение показаний того или иного устройства или прибора по оценке уровня искрения для настройки коммутации не имеет значения, важен факт выполнения этого равенства. Это позволяет расширить список используемых приборных методов оценки уровня искрения. Однако когда речь идет об оценке уровня искрения щеток в баллах по ГОСТ 183-74, то обязательным во всех приборах и устройствах должно быть наличие тарировочных зависимостей между показаниями прибора и уровнем искрения щеток по ГОСТ 183-74 для каждого типа тягового двигателя. Типичный вид такой зависимости приведен на рисунке 1. Приборы должны иметь аналоговый или цифровой выход своих показаний и должны программно в ЭВМ, ведущей управление испытаниями, переводиться в баллы стандарта.

Подвижной состав железных дорог

Сущность настройки коммутации заключается в анализе причин искрения. Если причина носит электромагнитный характер, то потребуется коррекция воздушных зазоров под добавочными полюсами (ДП).

На основании схемы замещения магнитной цепи ДП и разработанной авторами методики ее расчета предложены номограммы коррекции воздушного зазора δ_2 для всех находящихся в эксплуатации тяговых двигателей и генераторов. Кроме того, предложен программный продукт для построения таких номограмм практически любой электрической машины постоянного тока. Для примера на рисунке 2 приведены такие зависимости величины воздушного зазора δ_2 от параметра G для ТЭД ТЛ-2К1, где G является параметром корректировки воздушного зазора δ_2 и находится экспериментально [1].

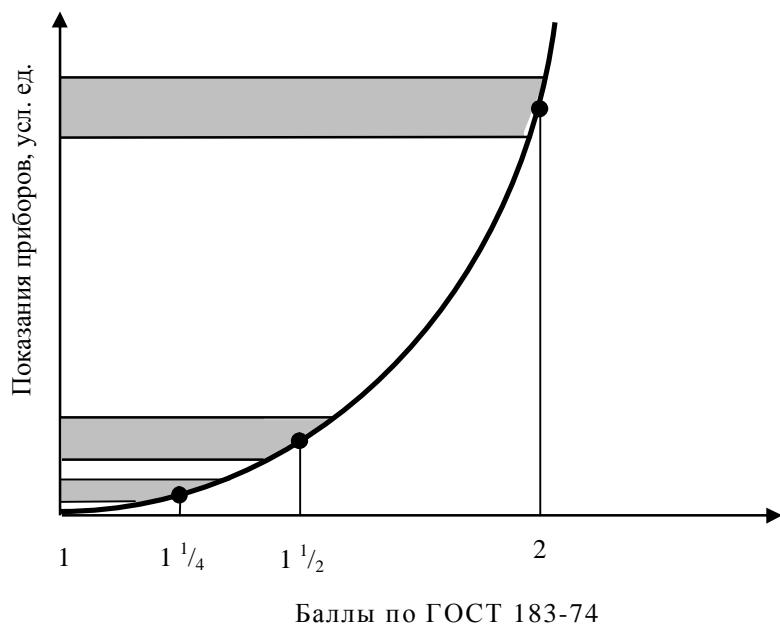


Рисунок 1 – Характерная зависимость между уровнем искрения и баллами по ГОСТ 183-74

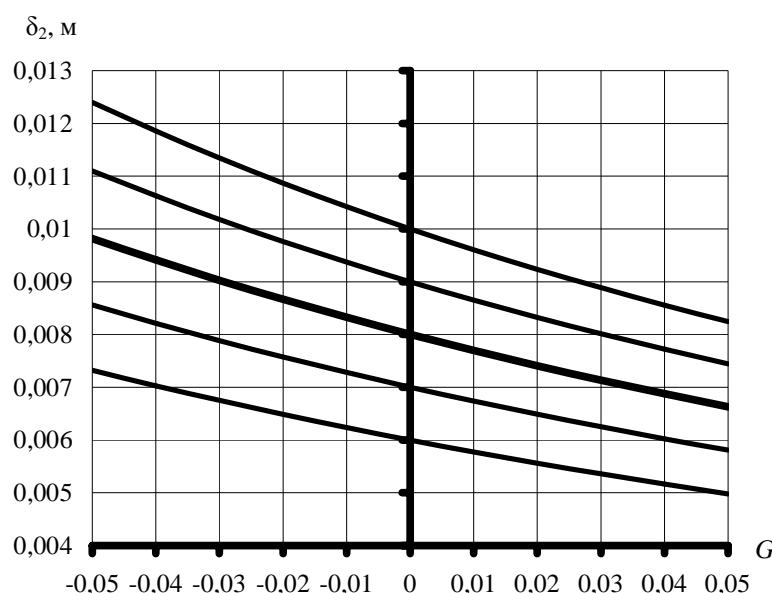


Рисунок 2 – Зависимость зазора δ_2 от параметра G

Актуальным остается вопрос о критериях искрообразования и коммутационной напряженности в коллекторных машинах. Это основной вопрос, лежащий в основе как теории токосъема, так и экспериментальных исследований. В середине XX в. ряд исследователей [2, 3] рассмотрели вопрос о критериях искрообразования и коммутационной напряженности. После того как сформировалось понятие неидентичности коммутационного процесса, критерии искрообразования приобрели еще большее значение. В полученном обширном перечне предлагаемых сегодня критериев фигурируют практически все параметры, в той или иной мере характеризующие коммутационный процесс.

Подвижной состав железных дорог

Известные критерии можно разделить на четыре основные группы [1]:

- 1) удельная мощность и энергия, связанная с дугообразованием;
- 2) характер протекания тока в коммутирующей секции;
- 3) повышенные значения напряжения на каком-либо участке коммутируемого контура;
- 4) обобщенные показатели коммутационной напряженности коллекторных электрических машин.

Исследователи, связывающие интенсивность искрения в контакте с выделяющейся мощностью или энергией, практически сходятся друг с другом во взглядах на происхождение искрения, а формулы для определения критерия искрения, предложенные В. И. Белошенко, А. Б. Иоффе, А. С. Курбасовым, В. П. Толкуновым и другими, значительно отличаются друг от друга [2, 3].

Поставленная авторами задача исследования состояла в анализе некоторых критериев искрообразования на ряде ТЭД и в сопоставлении их с данными отказов этих же двигателей по условиям коммутации. В таблице 1 представлены критерии, по которым проводился расчет коммутационной напряженности для тяговых электрических двигателей электровозов постоянного и переменного тока ТЛ-2К1, НБ-418К6, НБ-511, НБ-514, НБ-520В.

Таблица 1 – Критерии коммутационной напряженности

Группа критериев	Фамилия исследователя	Условие безыскровой работы	Критическое значение напряженности
Мощность (энергия), выделяющаяся в скользящем контакте Обобщенный показатель коммутационной напряженности	Е. Арнольд	$P_y = 100 \frac{L_c i_{d\max}^2 v_k}{2t_k l_{\text{щ}} n_{\text{щ}}}$	$P_y \leq 50 \text{ Вт/см}$
	В. С. Хвостов	$A' = \frac{L_c t_d m}{2n_{\text{щ}} l_{\text{щ}}}$	$A' = (0,5 \div 1)$
	А. Б. Иоффе	$\Phi = cP_y \left(\frac{40}{D_k} \right)^{1,5}$	$\Phi_u = 0,7 \div 1,5$
	А. С. Курбасов	$k_e = \frac{e_r i_a v_k}{2t_k l_{\text{щ}}}$	$k_e \approx 2200 - 2500 \frac{\text{Вт} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{см}^2}$
	А. Л. Курочка	$\varepsilon_{\text{к.н}} = \frac{e_r U_{k\max}}{t_k}, B^2 / \text{см}$	
	В. С. Хвостов	$k_{\text{щ}} = \frac{i_n e_m}{l_{\text{щ}}}$	$k_{\text{щ}} < 500 \text{ Вт/см}$

В дальнейших расчетах использовалась рейтинговая система, по которой двигателю с наибольшим рассчитанным значением критерия присваивался наименьший балл. Затем этот балл суммировался в рейтинг напряженности ТЭД (таблица 2).

Таблица 2 – Рейтинг напряженности ТЭД

ТЭД	Суммарный балл напряженности	Место в рейтинге
НБ-514Б	12	1
НБ-418К6	17	2
НБ-511	18	3
НБ-520В	21	4
ТЛ-2К1	22	5

Подвижной состав железных дорог

Сравнивая между собой выбранные образцы, можно отметить, что ТЭД НБ-514 электровоза ВЛ85 и его модификация «Б» электровоза 2ЭС5К «Ермак» являются наиболее напряженными в коммутационном отношении.

Для рассмотрения зависимости между отказами ТЭД и критериями напряженности использованы данные отдела ремонта локомотивной службы Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД).

В ходе исследования был рассчитан поток отказов тяговых электродвигателей по причине неудовлетворительной коммутации за период с 1999 по 2006 г. (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение отказов ТЭД ВСЖД по причине неудовлетворительной коммутации

Тип ТЭД	Количество $N_{\text{ТЭД}}$, ед.	Количество отказавших ТЭД при пробеге 10^6 км, ед.
НБ-418К6	2133	32
НБ-514	2696	44

Согласно данным таблиц 2 и 3 двигатель НБ-514 имеет наибольший поток отказов и высший рейтинг по критериям коммутационной напряженности. Менее напряженным является двигатель НБ-418К6, что также подтверждается выбранными критериями. Расчеты проводились для условий ВСЖД.

В данной статье изложена основа настройки коммутации ТЭД при их ремонте в условиях заводов и депо.

Предлагаемая технология практически исключает влияние на результаты испытаний человеческого фактора и принятие решения по настройке коммутации ТЭД.

Изложенные требования к приборам по оценке уровня искрения, к комплектации испытательных станций и методике коррекции зазоров при настройке коммутации позволяют разработать технические условия и включить их в общий технологический процесс ремонта ТЭД.

Перспективным является рассмотрение коммутационного процесса с энергетической точки зрения как многофакторной системы.

Результаты расчета по критериям коммутационной напряженности коррелируются с потоком отказов ТЭД по причине неудовлетворительной коммутации.

По результатам приведенных расчетов наиболее близкими к практике являются обобщенные критерии В. С. Хвостова, А. Л. Курочки, А. С. Курбасова.

Приведенные данные еще раз подтверждают, что критерии искрообразования, основанные на энергетических параметрах коммутационного процесса, являются перспективными в части дальнейшего совершенствования измерительных приборов и экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Авилов, В. Д. Методы анализа и настройки коммутации машин постоянного тока [Текст] / В. Д. Авилов. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 237 с.
2. Толкунов, В. П. Теория и практика коммутации машин постоянного тока [Текст] / В. П. Толкунов. – М.: Энергия, 1979. – 224 с.
3. Курбасов, А. С. Критерии коммутационной напряженности машин постоянного тока [Текст] / А. С. Курбасов. // Электромеханика. – 1963. – № 9.

Подвижной состав железных дорог

УДК 629.4.027/027:620.179.16(07)

Р. А. Ахмеджанов, В. С. Кашка, А. В. Тихонов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ И РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ КОЛЕСНЫХ ПАР

В работе рассчитаны динамические характеристики частиц ферромагнитного порошка при магнитопорошковом контроле способами остаточной намагниченности и приложенного поля, а именно траектории перемещения в магнитном поле трещины, и время образования валиков индикаторного рисунка. Получена математическая модель магнитного поля короткого соленоида. Разработана непрерывная аналитическая зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля, характеризующая петлю гистерезиса, представленная системой двух гармонических функций с разностью начальных фаз, зависящей от коэрцитивной силы. Результаты исследований позволяют рассчитать максимально возможную при магнитопорошковом контроле скорость перемещения намагничивающего устройства относительно объекта контроля и установить новый режим контроля осей колесных пар вагонов с совмещенным вращением колесной пары и поступательным движением соленоида. Для реализации предложенного режима разработан автоматизированный комплекс магнитопорошкового контроля оси колесной пары в сборе с колесами.

Результаты исследований внедрены в лаборатории неразрушающего контроля Омского государственного университета путей сообщения (ДУОСП ОмГУПСа) и подготовлены к внедрению на демонтажном участке вагонно-колесной мастерской (ВКМ) ст. Иртышская Западно-Сибирской железной дороги.

Для выявления поверхностных трещин на оси колесной пары применяется магнитопорошковый метод неразрушающего контроля (МПК), который позволяет выявлять трещины с раскрытием 1 – 0,3 мкм, дает возможность получить индикаторные рисунки, прост в исполнении.

Однако реализация положительных качеств МПК возможна только при точном и тщательном выполнении технологических переходов. Кроме того, должны соблюдаться требования к размерам и качеству частиц магнитного индикатора, ориентации объекта контроля относительно намагничивающего поля, режимам сканирования и т. д.

Деповская штатная технология МПК является в основном «ручной», ее оборудование и оснастка «привязаны» к человеку и не совершенствуются более 40 лет, в связи с этим контроль требует больших временных затрат. Например, по результатам анализа статистического материала, собранного в вагонных и локомотивных депо Омского узла Западно-Сибирской железной дороги (рисунки 1, 2), видно, что среднее время на контроль средней части вагонной оси составляет 14,3 мин со средним квадратическим отклонением, равным 4,6 мин, и шеек оси – 10,1 и 0,8 мин соответственно, что превышает установленные нормативы.

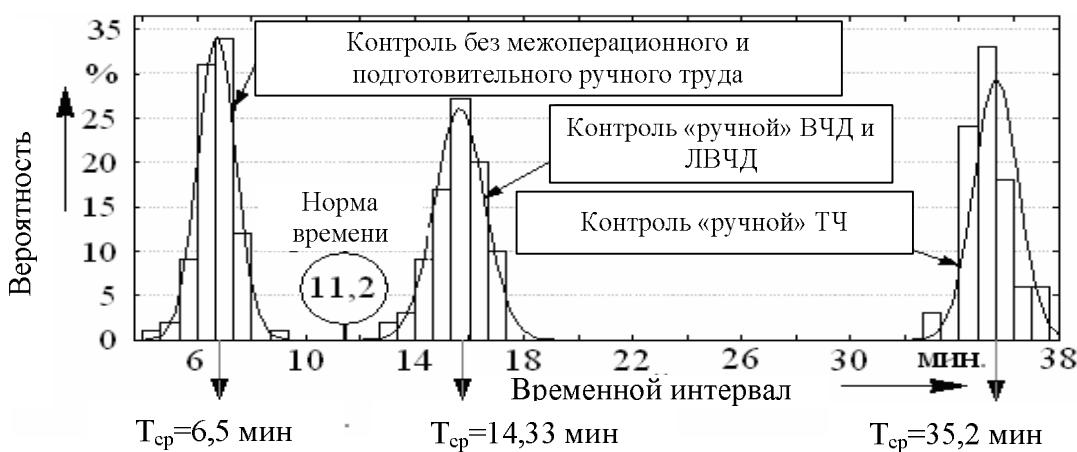


Рисунок 1 – Гистограммы затрат времени на МПК средней части оси

Подвижной состав железных дорог

Особенно острой проблема излишних затрат времени является в вагонно-колесных мастерских (ВКМ), например, в ВКМ ст. Иртышская ОАО «РЖД» с программой выпуска колесных пар 50 тыс. штук в год.

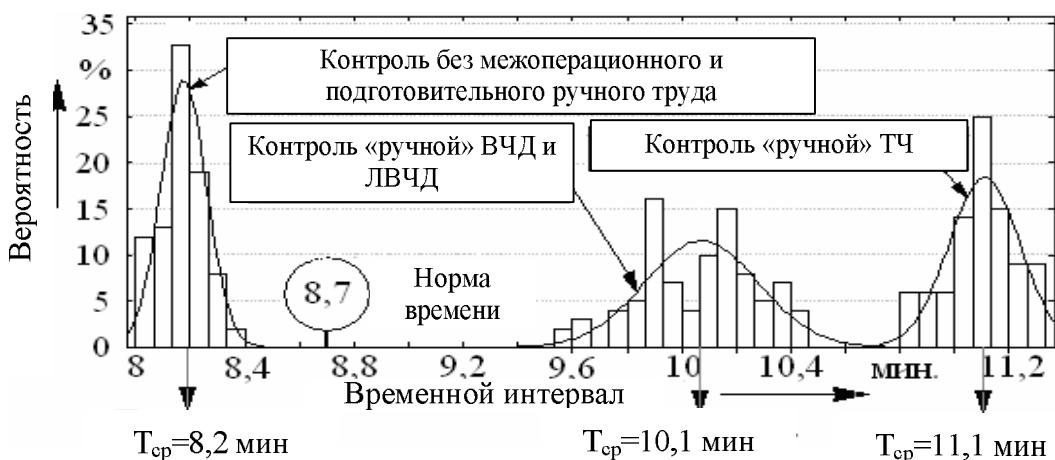


Рисунок 2 – Гистограммы затрат времени на МПК шеек оси

В статье рассматривается задача повышения производительности МПК колесных пар с использованием штатного оборудования при сохранении существующего уровня достоверности. Решение данного вопроса для условий депо и ВКМ возможно путем автоматизации контроля. Очевидно, что поиск решения должен вестись с учетом бесперспективности полного исключения основного звена технологического процесса МПК – человека. Здесь полная автоматизация невозможна, однако ручные манипуляции можно отдать автоматам, а аналитическую часть оставить за человеком.

Анализ путей автоматизации МПК оси колесной пары показал, что резервы повышения производительности МПК имеются в совершенствовании технологии контроля. С этой целью исследованию должны быть подвергнуты следующие технологические аспекты и режимы контроля:

расположение объекта контроля в соленоиде: необходимо поверхность оси устанавливать в зоне намагничивания, создающей наибольшую напряженность поля рассеяния над дефектом;

траектория и скорость перемещения соленоида относительно объекта контроля: длина намотки соленоида значительно меньше длины оси, что создает необходимость перемещения намагничающего устройства, кроме того, из-за сыпучести магнитного порошка контроль всей поверхности может быть обеспечен только при поворотах и фиксации поверхности контроля. При этом скорость поступательного движения соленоида и вращения оси колесной пары обусловливаются временем формирования индикаторного рисунка ферромагнитными частицами.

Обоснование расположения в соленоиде оси колесной пары. Помещенный в магнитное поле ферромагнитный материал, намагничиваясь, создает собственное магнитное поле, способное превосходить исходное поле по напряженности в сотни и более раз. Для анализа наилучшего положения оси колесной пары в соленоиде воспользуемся рекомендациями работы [1], где было рассмотрено возможное искажение магнитного поля короткого соленоида при помещении в него бесконечно длинной цилиндрической детали (рисунок 3). Примем следующие допущения:

- 1) магнитное поле от краев оси или торцов колес отсутствует;
- 2) глубина проникновения магнитного поля бесконечно мала;
- 3) источником магнитного поля на поверхности является бесконечно тонкая и бесконечно длинная линия магнитных зарядов.

Подвижной состав железных дорог

На рисунке 3 цифрами 1 и 2 обозначены соответственно воздушное пространство и ферромагнитный материал. Соленоид изображен частично. Граница раздела сред установлена на некотором расстоянии от ноля по оси x и совпадает с осью η . Ось z – центральная ось соленоида.

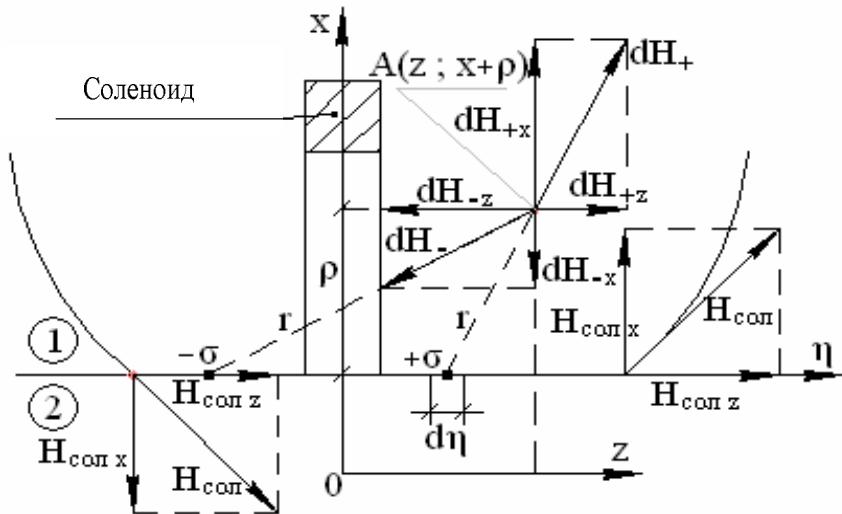


Рисунок 3 – Деталь из ферромагнитного материала в поле соленоида

Магнитное поле соленоида с напряженностью $H_{\text{сол}}$ создает на поверхности ферромагнетика некоторый магнитный заряд с плотностью σ . В формировании σ участвует только компонент $H_{\text{сол}, x}$, перпендикулярный границе раздела сред. Знак магнитного заряда будет зависеть от направления напряженности. В свою очередь магнитные заряды создадут в окружающем их пространстве собственное поле, взаимодействующее с полем соленоида. В результате образуется некоторое суммарное поле, в котором производится намагничивание.

Согласно рисунку 3 запишем выражения для поля детали:

$$H_{\text{дет}, z} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sigma(\eta)(z - \eta)}{\left((z - \eta)^2 + \rho^2\right)^{\frac{3}{2}}} d\eta; \quad (1)$$

$$H_{\text{дет}, x} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sigma(\eta)\rho}{\left((z - \eta)^2 + \rho^2\right)^{\frac{3}{2}}} d\eta, \quad (2)$$

где $\sigma(\eta) = B(H) \frac{H(\eta)_{\text{сол}, x}}{H(\eta)}$ – плотность магнитных зарядов;

$B(H)$ – магнитная индукция (H является функцией η) Тл;

$H(\eta)_{\text{сол}, x}$ – нормальная оставляющая напряженности внешнего поля, А/м;

$H(\eta)$ – абсолютная величина напряженности внешнего поля, А/м;

$d\eta$ – элемент длины линии, вдоль которой распределен магнитный заряд;

dH – напряженность от $\sigma(\eta)d\eta$, А/м.

Тогда результирующее поле в точке $A(z; x + \rho)$ определится так:

$$H_{\text{рез}, z}(z; x + \rho) = H_{\text{сол}, z}(z; x + \rho) + H_{\text{дет}, z}(z; x + \rho); \quad (3)$$

$$H_{\text{рез}, x}(z; x + \rho) = H_{\text{сол}, x}(z; x + \rho) + H_{\text{дет}, x}(z; x + \rho), \quad (4)$$

где $H_{\text{сол}, z}(z; x + \rho)$, $H_{\text{сол}, x}(z; x + \rho)$ – величины проекций напряженности поля соленоида в точке $(z; x + \rho)$, А/м;

Подвижной состав железных дорог

$H_{\text{дет}z}(z; x + \rho), H_{\text{дет}x}(z; x + \rho)$ – величины проекций напряженности поля детали в точке $(z; x + \rho)$, А/м.

Выражения (3), (4) решаются численными методами посредством ЭВМ с предоставлением результатов в графической форме. Зависимость $B(H)$, характеризующую первоначальную кривую намагничивания осевой вагонной стали, возьмем согласно расчетам в работе [2].

Построим графики выражений (3), (4) (рисунок 4) для различных значений координаты x , взяв за переменную координату z . Возьмем три значения x : $0,7R$, $0,8R$, $0,9R$. Для каждого из положений оси x рассчитаем по четыре значения ρ , являющегося расстоянием от рассматриваемой точки до поверхности детали ($\rho = 0,002$ м; $0,003$ м; $0,004$ м; $0,005$ м). Координату z меняем в интервале $[-0,13 \text{ м}; 0,13 \text{ м}]$. В основу расчета положим штатный соленоид модели МД-13ПР, для описания магнитного поля в соленоиде воспользуемся рекомендациями [3, 4].

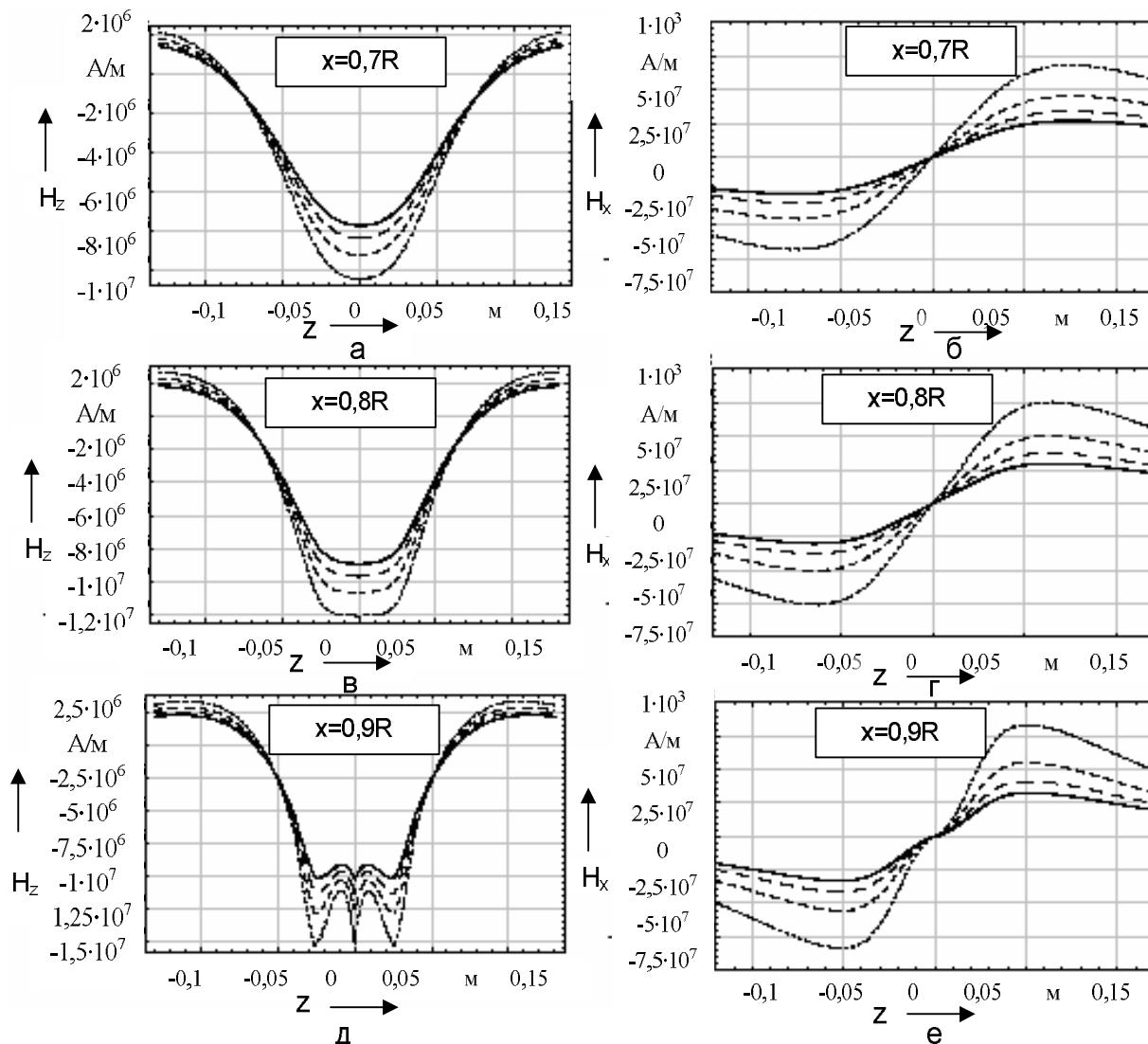


Рисунок 4 – Изменение H_z и H_x в зависимости от x – расстояния между контролируемой поверхностью и осью соленоида: – – – – $\rho = 0,002$ м; – – – – $\rho = 0,003$ м; – – – – $\rho = 0,004$ м; – – – – $\rho = 0,005$ м

Следует отметить, что в работе [1] было предположено, что внесенный в соленоид бесконечно длинный ферромагнитный цилиндр собственным полем выравнивает поле соленоида. В нашем случае заметна лишь равномерность $H_{\text{рез}z}(z; 0,8R)$ в зоне соленоида. Можно сказать, что поле при смене положения детали в соленоиде существенных изменений не претерпевает. Следовательно, по существующей технологии операция выставления зазора (40 – 60 мм) является излишней.

Подвижной состав железных дорог

Расчет траектории и скорости перемещения соленоида относительно оси колесной пары.
Для описания динамики ферромагнитной частицы в магнитном поле составим дифференциальные уравнения движения на основе второго закона Ньютона (рисунок 5). При этом плотность частиц считаем достаточно малой для возможности пренебречь взаимодействием между ними. Выражения для проекций на оси координат запишутся в виде:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = f_{mx} - F_{tp,x}; \quad (5)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = f_{my} - F_{tp,y} - mg + F_{ap,x}, \quad (6)$$

где m – масса частицы, кг;

x, y – координаты рассматриваемой точки;

f_{mx}, f_{my} – проекции магнитной силы на оси x и y соответственно, H ;

$F_{ap,x}$ – сила Архимеда, H ;

$F_{tp,x}, F_{tp,y}$ – проекции силы вязкого трения на оси x и y соответственно: $F_{tp,x} = \nu \frac{dx}{dt}$,

$$F_{tp,y} = \nu \frac{dy}{dt}, H;$$

ν – коэффициент вязкого трения.

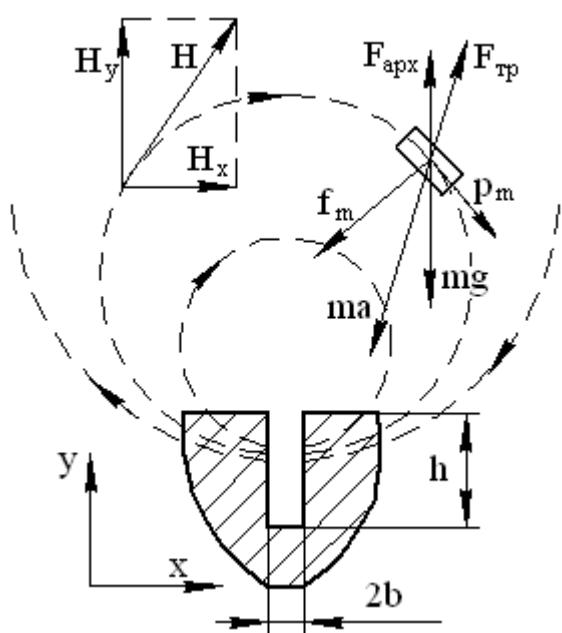


Рисунок 5 – Модель для описания динамики ферромагнитной частицы в магнитном поле

Магнитная сила, действующая на частицу, зависит от напряженности поля согласно выражению:

$$f = \nabla(p_m H), \quad (7)$$

где p_m – магнитный момент, $A \cdot m^2$;

H – напряженность поля, A/m (формируется как полем трещины, так и некоторым внешним полем).

В качестве модели поля трещины взяты выражения В. Е. Щербинина, Н. Н. Зацепина [5], для расчета модели внешнего поля [6] для контроля как способом остаточной намагниченности, так и в приложенном поле.

Для расчета траекторий движения частиц порошка необходимо иметь выражения, непрерывно во времени описывающие изменение магнитной индукции по петле гистерезиса. Апроксимировать такую зависимость можно системой двух гармонических функций с разностью начальных фаз, зависимой от коэрцитивной силы. Запишем данную систему уравнений согласно рекомендациям работы [2]:

$$\begin{cases} H(t) = H(x, y, z) \sin(\omega t); \\ B(t) = \frac{2 B_s H_m \sin(\omega t + \phi)}{\left[1 + \left(\frac{H_m \sin(\omega t + \phi)}{H_s} \right)^2 \right]^{1/2}} H_s \end{cases} \quad (8)$$

где ω – угловая частота, рад/с;

t – время, с;

Подвижной состав железных дорог

$H(z,y,z)$ – напряженность поля в точке с координатами x, y, z , А/м;

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{H_c}{\sqrt{(H_s^2 - H_c^2)^2}} \right); \quad (9)$$

B_s – магнитная индукция насыщения, Тл;

H_s – напряженность насыщения, А/м;

H_c – коэрцитивная сила, А/м.

Сложные зависимости от координат напряженности поля трещины не позволяют получить решение дифференциальных уравнений динамики заряженной частицы в аналитической форме. Оно получено численными методами с графическим построением траектории движения (рисунки 6, 7).

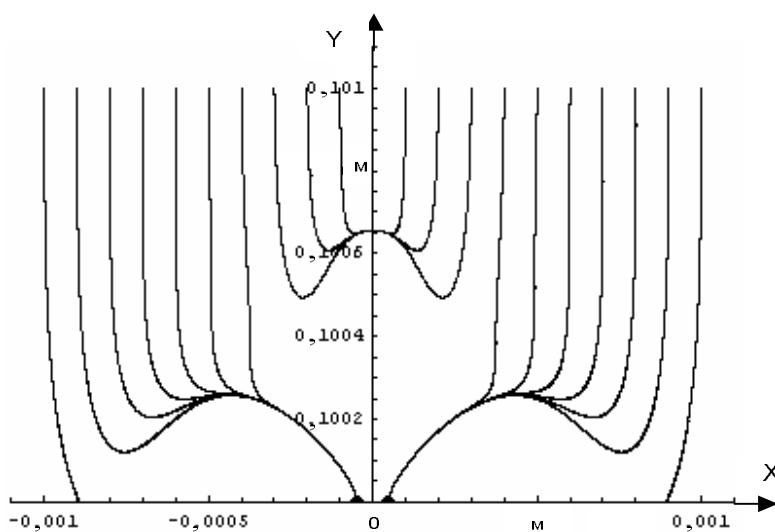


Рисунок 6 – Траектории движения частиц в поле трещины при контроле способом остаточной намагниченности

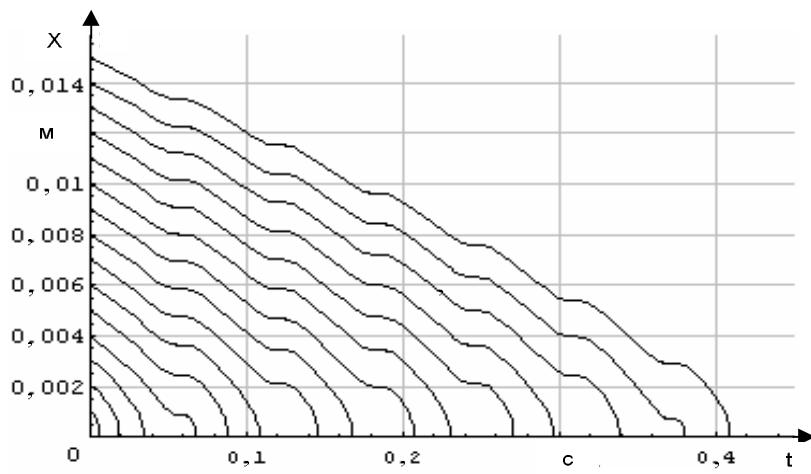


Рисунок 7 – Изменение координаты x частицы во времени при формировании индикаторного рисунка (раскрытие трещины по уровню Б)

Для контроля способом приложенного поля траектории движения ферромагнитных частиц в поле трещины показаны на рисунке 6, где видно, что частицы притягиваются к краям трещины, выделенным жирными точками. Непрятянувшиеся же частицы оседают на некотором расстоянии, позволяя на фоне поверхности объекта видеть характерный валик.

Подвижной состав железных дорог

Для контроля способом приложенного поля полученная зависимость координаты x (в плоскости контролируемой поверхности) от времени показана на рисунке 7, из которого видно, что даже с расстояния в 1,5 см магнитный порошок способен достигнуть места расположения дефекта (0,4 с). Причиной этого является внешнее магнитное поле с высокой напряженностью, созданное соленоидом и намагниченной деталью. По сути это магнитное поле выполняет транспортную роль, перемещая порошки по контролируемой поверхности до места расположения дефекта, где поле рассеяния формирует из них индикаторный рисунок. Поэтому в динамике ферромагнитной частицы при контроле сухим порошком основную роль играет напряженность внешнего поля.

Зона контроля для соленоида модели МД-13ПР $L = 0,3$ м. Определим угловую скорость ω вращения оси колесной пары. Максимальное время на формирование валика порошка над дефектом составляет 0,5 с. За это время колесную пару повернем на половину угла, ограничивающего сектор контролируемой поверхности оси (72°). Остальное время дается оператору на осмотр. Имеем:

$$\omega = \frac{2\pi}{10} \frac{1}{0,5} = \frac{2\pi}{5}, \quad (10)$$

$2\pi/5$ рад/с соответствует 12 об/мин. Один поворот колесная пара сделает за 5 с. За это время соленоид должен пройти путь, равный L . Тогда скорость поступательного движения соленоида определится так:

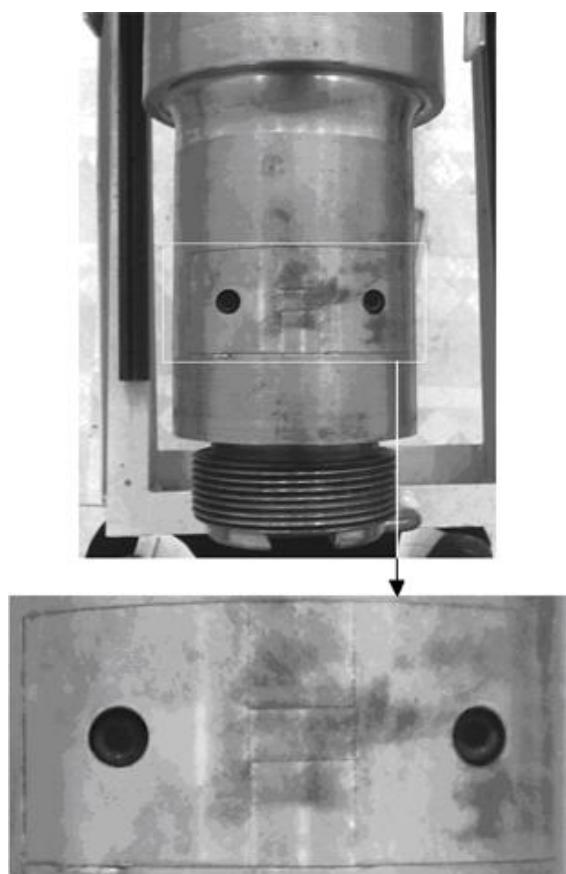


Рисунок 8 – Магнитные индикации дефектов СОП

$$v = \frac{L}{5}; \quad (11)$$

$$v = \frac{0,3}{5} = 0,06 \text{ м/с.}$$

Длина средней части оси – 1250 мм, значит, на полный проход соленоида будет затрачено 20 с.

Экспериментальная проверка режима контроля. Согласно действующей на предприятиях вагонного хозяйства технологической инструкции по неразрушающему контролю деталей подвижного состава магнитопорошковым методом проверка работоспособности средств магнитопорошкового контроля осей колесных пар проводится с помощью стандартных образцов предприятия (СОПов). В результате МПК контрольной оси колесной пары на рабочей поверхности СОПа должны образоваться валики магнитного порошка, вид которых должен соответствовать дефектограмме, приведенной в паспорте СОПа.

Результаты экспериментальных исследований представлены в виде фотографий индикаций, образовавшихся над несплошностями СОПа (рисунок 8). Сравнивая полученный рисунок с дефектограммой, убеждаемся в их полном совпадении.

На рисунке 9 показана схема разработанной системы, позволяющей в автоматизированном режиме производить МПК осей колесных пар в условиях депо и ВКМ.

Подвижной состав железных дорог

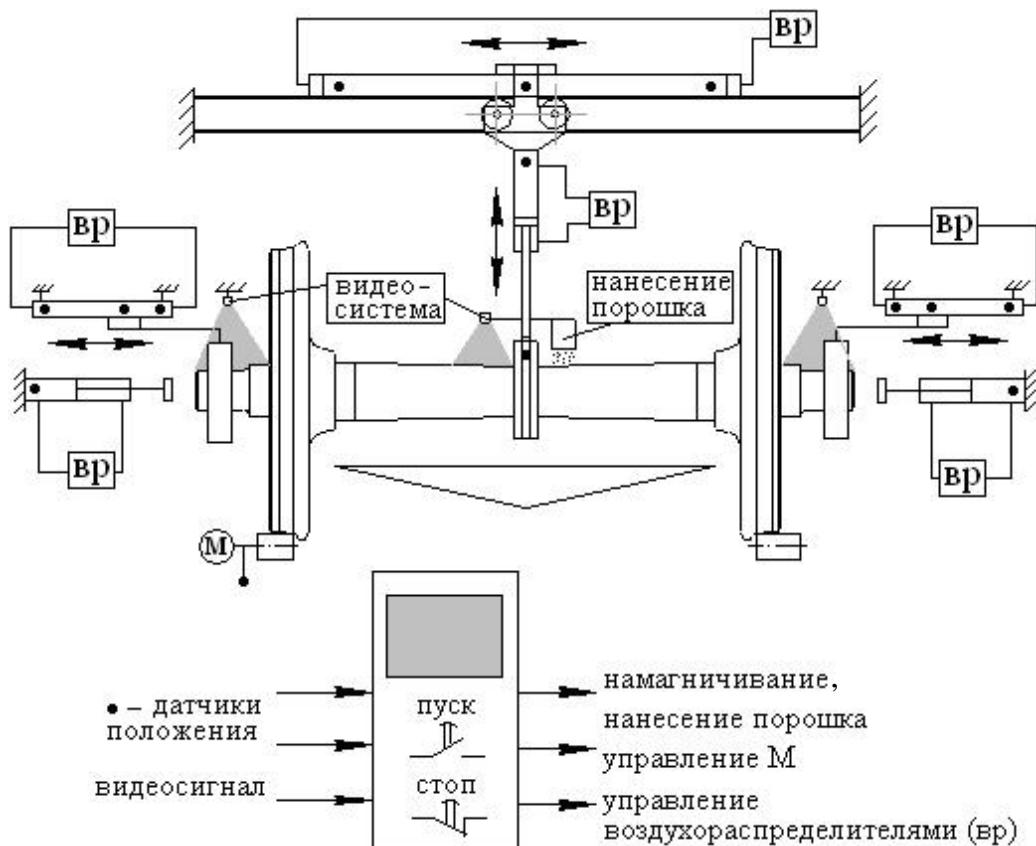


Рисунок 9 – Схема автоматизированной системы МПК колесных пар

Все приводы в системе, кроме электропривода катковой станции, пневматические, они выполняют сканирование соленоидами в двух плоскостях и перемещают вспомогательные механизмы по заданным алгоритмам.

Сигналы датчиков положения поступают в контроллер, который осуществляет управление процессами намагничивания, нанесением порошка, вращением колесной пары. Направления возможных перемещений, исполняемые элементами, на рисунке изображены стрелками. Видеосистема позволяет оператору на экране рабочего места наблюдать индикаторные рисунки на шейках оси и на средней части, при этом видеоустройства на шейках закреплены стационарно, а на средней части оси перемещается вместе с намагничивающим устройством, производя сканирование всей поверхности. При обнаружении оператором индикаторного рисунка, характеризующего дефект, возможна остановка движения и подробный осмотр колесной пары.

На основе проведенных исследований разработан автоматизированный комплекс магнитопорошкового контроля колесной пары, в котором штатные и предложенные технологические переходы выполняются автоматическими устройствами по алгоритму, заложенному в микроконтроллер. Оператору отдается распознавание дефекта по магнитным индикациям, выводимым на дисплей монитора. При этом рабочее место оператора вынесено за пределы зон действия вредных и опасных факторов.

Перечисленное позволило увеличить производительность магнитопорошкового контроля колесной пары (рисунки 1, 2 – «Контроль без межоперационного и подготовительного ручного труда») с сохранением достоверности полученных результатов и улучшением безопасности труда.

Список литературы

1. Янус, Р. И. Магнитная дефектоскопия [Текст] / Р. И. Янус. – М.: ОГИЗ, 1946.

Подвижной состав железных дорог

2. Ахмеджанов, Р. А. Аппроксимация основных магнитных характеристик ферромагнетика [Текст] / Р. А. Ахмеджанов, В. С. Кашка // Транспорт Урала. 2006. № 3 (10). – С. 66 – 69.
3. Кашка, В. С. Математическая модель соленоида с постоянным током [Электронный ресурс] / В. С. Кашка // Материалы XVII российской науч.-техн. конф. «Неразрушающий контроль и диагностика» / ИМАШ УрОРАН. Екатеринбург, 2005. Электрон. оптич. диск. Статья № ТС1-9.
4. Ахмеджанов, Р. А. Математическая модель витка с постоянным током [Текст] / Р. А. Ахмеджанов, В. С. Кашка // Транспорт Урала. 2005. – № 2 (5). – С. 60 – 64.
5. Зацепин, Н. Н. К расчету магнитостатического поля поверхностных дефектов [Текст] / Н. Н. Зацепин, В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. 1966. – № 5. – С. 50 – 66.
6. Кашка, В. С. Разработка режимов магнитопорошкового контроля на основе коротких соленоидов с учетом динамических характеристик индикатора дефектоскопа: Автореферат дис... канд. наук. Омск, 2006. – 16 с.

УДК 629.4.027.115

А. В. Бородин, Е. Н. Кулинич, Ю. А. Иванова

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РОЛИКОВОЙ БУКСЫ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

В статье обоснована актуальность принятия мер для снижения количества неисправностей роликовых букс грузовых вагонов. Предложена усовершенствованная конструкция буксы, обеспечивающая рациональное восприятие комбинированной нагрузки, что приводит к существенному улучшению условий работы подшипников и повышению их ресурса.

Роликовые буксы грузовых вагонов являются одними из наиболее ответственных узлов подвижного состава, состояние которых влияет на безопасность движения. Согласно программе «Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г.» предполагается увеличение нагрузки на ось до 25 – 27 тс и повышение скорости движения поездов до 120 км/ч [1]. Таким образом, требования к опорным узлам подвижного состава непрерывно возрастают.

По данным Центральной дирекции по ремонту грузовых вагонов на сети железных дорог за последние годы количество случаев брака по неисправностям роликовых букс составляет более 95 % от общего количества случаев брака. Основными ресурсообразующими элементами вагонных букс являются подшипники качения. Следовательно, сохраняется актуальность разработки технических решений, направленных на улучшение условий работы буксовых подшипников и повышение их ресурса.

Характерным показателем неисправности буксы в пути следования является повышенная температура. В структуре показаний средств теплового контроля на сети российских железных дорог за период с 2006 по 2008 г. на нагрев букс грузовых вагонов приходится около 70 % от всех зарегистрированных случаев нагрева деталей подвижного состава. В 2007 г. на российских железных дорогах по неисправностям букс отцеплено 13200 грузовых вагонов (в 2006 г. – 11700 вагонов), из них по нагреву букс – 11500 вагонов, или 87 %. За 6 месяцев 2008 г. из-за нагрева буксовых узлов остановлено 22265 грузовых поездов, отцеплено 3818 грузовых вагонов, что на 8,1 % больше, чем за аналогичный период 2007 г. Основные неисправности роликовых подшипников, выявленные в 2006 – 2008 гг., на долю которых приходится более 10 % от общего количества случаев брака по неисправностям букс, приведены в таблице 1 [2].

Подвижной состав железных дорог

Таблица 1 – Количество случаев брака по основным неисправностям роликовых букс

Вид неисправности	Год					
	2006		2007		2008	
	количество случаев брака	процент от общего количества случаев брака	количество случаев брака	процент от общего количества случаев брака	количество случаев брака	процент от общего количества случаев брака
Надиры типа «елочки» на торцах роликов и бортах колец	74	16,8	63	12,7	116	15
Неисправности колец подшипников (раковины, шелушение, коррозия, трещины, отколы и др.)	57	12,9	0	12,1	182	23,5

Подшипники в буксах грузовых вагонов подвергаются значительным динамическим нагрузкам вследствие неудовлетворительных эксплуатационных характеристик ходовых частей, в частности, рессорного подвешивания. Однако существует ряд причин возникновения основных неисправностей, связанных с конструктивными несовершенствами типовой вагонной буксы.

Основной причиной возникновения надиров на торцах роликов и бортах колец, трещин и отколов бортов буксовых подшипников является их неэффективная работа под воздействием комбинированной нагрузки (радиальной нагрузки и рамной силы). Передача рамной силы происходит при контакте небольшой площади торцов роликов с бортами колец в условиях трения скольжения.

При скольжении торцов роликов относительно бортов колец происходит торможение роликов и нарушение параллельности осей роликов и колец. Частицы металла, образующиеся при трении скольжения, попадают в смазочный материал и на дорожки качения колец, что приводит к увеличению их абразивного износа.

В зоне труящихся поверхностей в условиях недостаточной смазки возникает значительный нагрев, который фиксируется диагностическими приборами и приводит к необходимости отцепки вагона в текущий ремонт. На рисунке 1 представлены схемы передачи рамной силы передним (а) и задним (б) цилиндрическими буксовыми подшипниками.

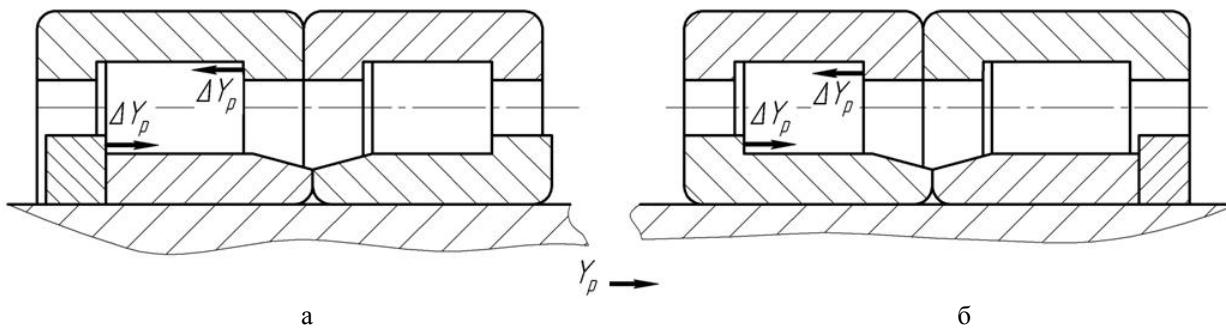


Рисунок 1 – Схемы передачи рамной силы цилиндрическими буксовыми подшипниками

При изготовлении подшипниковых колец в зоне галтелей между бортами и дорожками качения образуются остаточные напряжения. Под воздействием значительной нагрузки в этих местах происходит возникновение и ускоренное развитие трещины, которая может впоследствии привести к отколу борта.

По данным комиссионных осмотров аналогичные неисправности, связанные с неэффективным восприятием рамной силы, зафиксированы и в опытных буксах с коническими кас-

Подвижной состав железных дорог

сетными подшипниками в случае выбора осевого зазора и нарушения условий смазывания [3].

Цилиндрические подшипники чувствительны к перекосам. Часть передаваемой рамной силы ΔY_p создает моменты, стремящиеся опрокинуть ролик в вертикальной плоскости, при этом часть образующей ролика и часть дорожки качения подвергаются воздействию дополнительной радиальной нагрузки $\Delta F_r(Y_p)$, кН, которая не учитывается при расчете эквивалентной нагрузки на подшипник.

Порождаемое перекосом резкое возрастание давления приводит к разрушению масляной пленки. Происходит соприкосновение металлических поверхностей, при котором действие ролика на кольцо подшипника аналогично действию резца, что значительно повышает вероятность возникновения различных неисправностей кольца.

Дополнительную радиальную нагрузку $\Delta F_r(Y_p)$, кН, можно определить по формуле (1), полученной на основании математической модели динамической нагруженности вращающегося ролика буксового подшипника:

$$\Delta F_r(Y_p) = \frac{3Y_p(2r_p - \frac{3}{2}h_6)}{8zl_{eff}}, \quad (1)$$

где Y_p – средняя рамная сила, передаваемая через подшипник, кН;

r_p – радиус ролика, мм;

h_6 – высота борта кольца подшипника, мм;

z – число тел качения в подшипнике;

l_{eff} – фактическая длина контакта образующей ролика с дорожкой качения кольца, мм.

С учетом дополнительной радиальной нагрузки от перекоса тел качения уточненную эквивалентную нагрузку на подшипник P'_s , кН, можно определить по формуле (2):

$$P'_s = (F_r + z_h \Delta F_r(Y_p)) K_T K_6, \quad (2)$$

где z_h – число роликов в нагруженной зоне;

K_T – температурный коэффициент;

K_6 – динамический коэффициент безопасности.

Тогда уточненный расчетный ресурс подшипника L'_{10} , млн об, рассчитывается по формуле (3):

$$L'_{10} = (C_r / P'_s)^{10/3}, \quad (3)$$

а снижение ресурса ΔL_{10} , %, с учетом перекоса тел качения – по формуле (4):

$$\Delta L_{10} = [(L_{10} - L'_{10}) / L_{10}] \cdot 100 \%. \quad (4)$$

Результаты расчета снижения ресурса буксовых подшипников ΔL_{10} , %, под воздействием радиальной перегрузки в зависимости от скорости движения представлены в таблице 2. Расчет выполнен для подшипника в буксе грузового вагона на тележках модели 18-100 с нагрузкой на ось 235 кН (23,5 тс) при скоростях движения от 80 до 120 км/ч.

Подвижной состав железных дорог

Таблица 2 – Результаты расчета снижения ресурса буксовых подшипников под воздействием рамной силы

Скорость движения поезда, км/ч	Средняя рамная сила, Y_p , кН	Перегрузка от перекоса тела качения $\Delta F_r(Y_p)$, кН	Снижение ресурса подшипника ΔL_{10} , %
80	30,61	0,773	35,19
90	33,25	0,840	37,41
100	35,89	0,906	39,53
110	38,53	0,973	41,56
120	41,16	1,039	43,50

В качестве одного из конструктивных приемов, улучшающих условия работы роликоподшипников, предлагается принципиальная схема раздельного восприятия радиальной нагрузки и рамной силы элементами буксы (рисунок 2). На основе предложенной принципиальной схемы разработана конструкция буксы грузового вагона с двухуровневой модернизацией, защищенная патентами на полезную модель [4, 5].

Модернизированная букса грузового вагона (рисунки 3, а, б) содержит комбинированную опору оси, состоящую из подшипникового узла и шарового подпятника для восприятия рамной силы. Эта букса является взаимозаменяемой с типовой буксой, поскольку сохраняется конфигурация корпуса, торцевого крепления подшипников и центрального отверстия в шейке оси.

Шаровый подпятник (см. рисунки 3, а, б) состоит из пяты 1, шара 2, опоры 3 и подпружиненного упора 4, предназначенного для обеспечения фиксированного взаимного расположения деталей подпятника в нерабочем положении (при отсутствии воздействия рамной силы). Восприятие рамной силы шаровым подпятником повышает вероятность безотказной работы подшипников, за счет этого при введении в конструкцию буксы дополнительных деталей не снижается вероятность безотказной работы узла в целом.

Для повышения быстроходности и нагрузочной способности подшипников наружное кольцо 6 двухрядного радиального подшипника с короткими цилиндрическими роликами (см. рисунок 3, б) предлагается выполнить в виде втулки без бортов с направляющими кольцами 7, а сепаратор подшипника – с центрирующим пояском 8, контактирующим с внутренней поверхностью кольца. Наружное кольцо обеспечивает минимальные отклонения от цилиндрической формы посадочной поверхности, взаимодействующей с опорной поверхностью корпуса буксы. Цилиндрические поверхности внутреннего кольца позволяют исключить разноразмерность и отклонения форм дорожек качения для роликов, что способствует более равномерному распределению нагрузки на тела качения. Расположение роликов в шахматном порядке обеспечивает возможность дополнительного нагружения ролика при двухрядном исполнении.

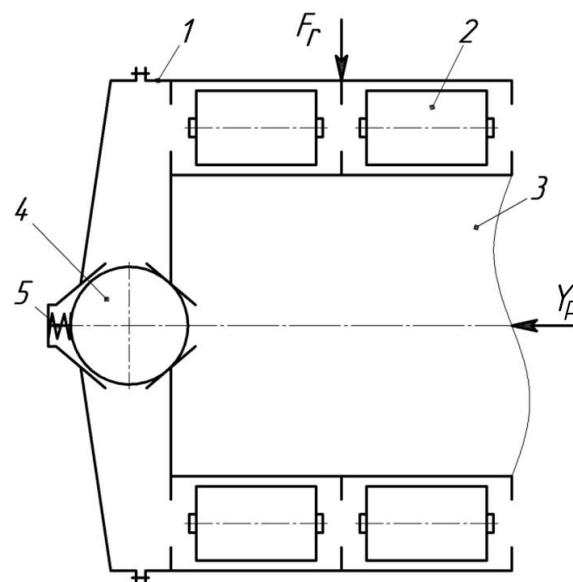


Рисунок 2 – Принципиальная схема буксы с раздельным восприятием составляющих динамической нагрузки: 1 – корпус;

2 – цилиндрический роликовый подшипник; 3 – ось; 4 – шаровой подпятник; 5 – прижимной упор

Подвижной состав железных дорог

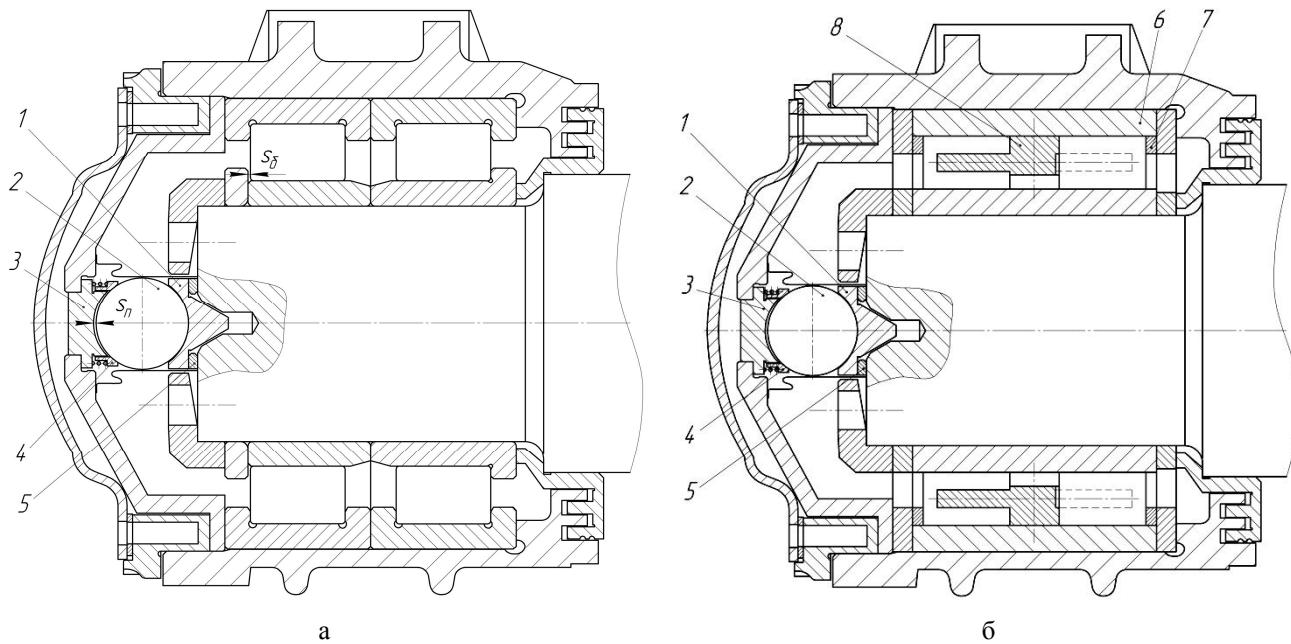


Рисунок 3 – Буксы грузового вагона с торцевым креплением тарельчатой шайбой:
а – первого уровня модернизации (с шаровым подпятником); б – второго уровня модернизации
(с шаровым подпятником и двухрядным роликоподшипником)

Отсутствие воздействия рамной силы на торцевые поверхности роликов, окружная подвижность опорных поверхностей направляющих колец позволяют увеличить быстроходность подшипника, а повышенная точность опорных поверхностей дорожек роликов – его нагружочную способность.

При разработке комбинированной опоры оси грузового вагона целесообразно обеспечить равный ресурс составляющих элементов, поэтому при расчете ресурса комбинированной опоры ресурс шарового подпятника приравнивается к прогнозируемому ресурсу подшипников качения, выраженному в единицах времени. Ресурс шарового подпятника представляет собой время работы до достижения предельного значения линейного износа деталей в горизонтальном направлении при известной скорости изнашивания сопряжений. Предельное значение износа должно соответствовать условию работоспособности комбинированной опоры: зазор в нерабочем положении шарового подпятника s_n при предельном износе не должен превышать осевого зазора в буксе s_b (см. рисунок 3, а). В противном случае подпятник перестанет воспринимать рамную силу. Задача обеспечения равного ресурса составляющих элементов опоры сводится к подбору начального зазора s_n , который обеспечит работоспособность опоры до истечения заданного ресурса. Начальный зазор в нерабочем положении подпятника определяется толщиной регулировочной шайбы 5 (см. рисунки 3, а, б).

Реализация перечисленных конструктивных усовершенствований в типовой буксе, направленных на снижение динамической нагруженности роликовых подшипников и улучшение условий их работы, приведет к существенному повышению ресурса ходовых частей подвижного состава. Прогнозируемое повышение ресурса буксовых подшипников в соответствии с методикой определения скорректированного расчетного ресурса подшипников качения [6] при последовательной реализации предложенных уровней модернизации составляет от 33 до 67 %.

Список литературы

1. Гапанович, В. А. Белая книга ОАО «РЖД»: Стrатегические направления научно-технического развития компании [Текст] / В. А. Гапанович // Железнодорожный транспорт. – 2007. – № 8. – С. 2 – 6.

Подвижной состав железных дорог

2. Богинский, О. И. Укреплять безопасность движения [Текст] / О. И. Богинский // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 10 – 13.
3. Сергеев, К. А. Повышение работоспособности буксового узла с кассетным подшипником [Текст] / К. А. Сергеев, А. Н. Францев // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 7. – С. 58 – 62.
4. Пат. 82011 Российская Федерация, МПК F16C 17/04. Подшипник со сферическими упорными поверхностями [Текст] / А. В. Бородин, Ю. А. Иванова; заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. – № 2008145684/22; заявл. 19.11.2008; опубл. 10.04.2009. Бюл. № 10. – 2 с.: ил.
5. Пат. 65008 Российская Федерация, МПК B 61 F 15/12. Букса с цилиндрическим роликоподшипником [Текст] / А. В. Бородин, Ю. А. Иванова; заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. – № 2007112328; заявл. 02.04.07; опубл. 27.07.2007. Бюл. № 21. – 2 с.: ил.
6. ГОСТ 18855-94. Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс (долговечность) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 22 с.

УДК 621.436:629.424.1

А. И. Володин, Е. И. Сквородников, А. С. Анисимов

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ВИБЕ

Рассматривается математическая модель теплового расчета дизельного двигателя методом Вибе. Приведен алгоритм последовательности вычислений. Проведено сравнение полученных в результате моделирования данных с опытными значениями. Рассмотрено влияние доли сгоревшего топлива на индикаторные и эффективные показатели работы дизеля.

Контроль технического состояния дизельного подвижного состава в условиях эксплуатации и поддержание его в технически исправном состоянии возложено на систему планово-предупредительного ремонта, которая функционирует в настоящее время в ОАО «РЖД».

В настоящее время считается, что планово-предупредительная система ремонта неэффективна, так как по циклу ремонта выполняются работы по некоторым узлам и деталям, которые, исходя из их технического состояния, выполнять нецелесообразно.

Несомненно, что это приводило к увеличению стоимости и продолжительности ремонта, в связи с чем в настоящее время различными научными коллективами разрабатываются системы диагностирования тепловоза, что предполагает исключить ряд работ в ремонтном цикле, которые выполняются в основном для контроля технических размеров и характеристик узлов и агрегатов тепловоза, т. е. для контроля их исправного и неисправного состояния.

Как показывает опыт эксплуатации таких диагностических систем, в локомотивных депо они не выполняют возложенных на них функций. Конечно, основную сложность на разработку таких систем, включающих в себя алгоритмы обработки результатов контроля и принятия решений и формирования объема предшествующего ремонта, оказывает контроль тепловых и динамических параметров энергетических установок.

При использовании систем диагностирования для предремонтного диагностирования потребуется проведение полных реостатных испытаний перед выполнением ремонта, а это – увеличение времени отвлечения локомотива из эксплуатации, повышение стоимости ремонта и ряд других непроизводительных затрат. Очевидно по этой причине перспективная система ремонта – ремонт по техническому состоянию – на сегодняшний день не получил широкого распространения.

Подвижной состав железных дорог

Тем не менее следует отметить, что независимо от качества работы системы диагностирования и количества контролируемых параметров использование статистических методов анализа результатов диагностирования практически во всех случаях просто необходимо.

Считаем, что наибольшую эффективность в системе ремонта тепловозов будут иметь системы диагностирования, направленные на контроль качества для выполненных ремонтов и формирование базы данных (такая база данных необходима в системе планово-предупредительных ремонтов). База данных, основная часть автоматизированной системы управления локомотивным хозяйством, подсистема анализа параметров ремонта и надежности тепловозов должна включать в себя информацию по конкретному номеру локомотива, полученную во всех возможных имеющихся в настоящее время в локомотивных депо системах контроля и диагностирования.

Например, на кафедре «Локомотивы» ОмГУПСа разработаны и готовы к внедрению в системе диагностирования и анализа эффективности использования тягового подвижного состава анализ степени износа и прогнозирование остаточного ресурса трущихся деталей шатунно-поршневой группы и коленчатого вала дизельных двигателей по результатам спектрального анализа картерного масла; анализ режимов работы и экономичности эксплуатации тепловозов с использованием программно-аппаратного комплекса «Смена»; методика расчета термодинамических параметров рабочего цикла и расчет экологических характеристик дизельных двигателей для различных режимов работы; расчет нормы расхода топлива тепловозами в поездной и маневровой работах по режимным картам и утвержденным в ОАО «РЖД» формам первичной документации.

В последнее время на кафедре «Локомотивы» выполняются научные исследования по совершенствованию методики безразборного диагностирования энергетических установок тепловозов, сущность которой приведем ниже.

Тепловозный парк, эксплуатирующийся в системе ОАО «РЖД», оснащен в основном дизелями мощностного ряда ПД1М, 10Д100, Д49. Большинство этих дизелей были выпущены более 10 – 20 лет тому назад и прошли несколько капитальных ремонтов. Однако несмотря на их моральное и физическое старение они еще долго будут оставаться основными энергетическими установками автономных локомотивов. Замена на тепловозах серии ТЭ10 дизелей 10Д100 на более экономичные дизели Д49, а также ввод в эксплуатацию модернизированных дизелей ПД1М пока не находят широкого применения по ряду организационных и технических причин.

В связи с этим проблема поддержания в исправном техническом состоянии эксплуатируемого парка тепловозов является одной из важнейших задач, решаемых ОАО «РЖД».

Несомненно, что одним из путей улучшения технического состояния локомотивов является применение достаточно эффективной системы послеремонтного диагностирования, позволяющего оценить качество ремонта и настройки тепловозов при выполнении реостатных испытаний.

Одним из существенных недостатков действующей и утвержденной правилами ремонта технологий реостатных испытаний является отсутствие процедуры индицирования цилиндров дизеля.

В технологический процесс реостатных испытаний включены подготовительные работы, обкатка дизель-генераторной установки (ДГУ), наладочно-регулировочные работы с применением термодизельного комплекта или стационарных систем диагностирования.

Между тем, диаграммы, характеризующие изменение давления газов в цилиндрах дизеля в зависимости от угла поворота коленчатого вала, являются наиболее информативными параметрами, характеризующими качество протекания рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и его экономичность. Известные методы прямого и косвенного индицирования [1] технологически довольно сложны, требуют дополнительной экспериментальной приборной базы, которая не входит в штатный комплект станции реостатных испытаний. Так, для проведения прямого индицирования дизеля обычно используются специальные миниа-

Подвижной состав железных дорог

турные датчики давления, устанавливаемые в форсунку (например, фирмы Optrand (США). Косвенные методы применяются в виде отдельных экспериментальных проработок, например: использование сигналов неравномерности вращения коленчатого вала; определение давления тензодатчиками, установленными на уплотнительную прокладку газового стыка; установка стальной шайбы с закрепленными на ней тензорезисторами под гайку или болт крепления крышки (головки) цилиндров [1].

Между тем, возможен принципиально другой, но наиболее удобный и менее затратный метод получения развернутой индикаторной диаграммы. Использование аналитических методов расчета действительного рабочего цикла испытываемого двигателя, основанных на известных теоретических положениях, изложенных в работах В. И. Гриневецкого-Е. К. Мазинга, И. И. Вибе, Н. Ф. Разлейцева и др.

Для оценки технического состояния и качества настройки ДВС разработана математическая модель, описывающая действительный рабочий цикл дизеля, в основу которой положен метод Вибе [2].

Согласно работе [2] уравнение выгорания топлива в дизельных двигателях описывается выражением:

$$x_i = 1 - e^{C \left(\frac{\varphi_i}{\varphi_z} \right)^{m+1}}, \quad (1)$$

где $C = \ln(1 - x_z)$;

x_z – доля топлива, сгорающего в цилиндре двигателя за рабочий цикл;

x_i – доля топлива, сгоревшего за время от начала сгорания до угла φ_i поворота коленчатого вала;

φ_i – текущий угол поворота коленчатого вала, ° п.к.в.;

φ_z – продолжительность процесса выгорания топлива для заданного режима нагружения, ° п.к.в.;

m – показатель характера сгорания.

Продолжительность процесса сгорания φ_z и показатель характера сгорания m являются кинетическими параметрами закона выгорания топлива, однозначно определяющими развитие процесса сгорания во времени.

Для математического решения задачи описания динамических и тепловых процессов в цилиндре двигателя в алгоритм введены следующие уточнения:

для повышения точности оценок процессы сжатия и расширения рассчитываются с переменными показателями политропы сжатия и расширения;

при расчете процесса сгорания введен блок расчета коэффициента эффективности сгорания, который вычисляется в зависимости от угла поворота коленчатого вала или текущего объема цилиндра и площади поверхности теплообмена.

Для определения коэффициента теплоотдачи от газа к стенкам цилиндра по каждому углу поворота коленчатого вала дизеля от момента начала сжатия до момента окончания расширения используется уравнение Вошни [3].

Реализации такого алгоритма возможна

при известных значениях мощности и частоты вращения коленчатого вала дизеля;

определенных по результатам испытаний максимального давления сгорания и давления наддува;

известной величине геометрического угла опережения подачи топлива;

известной температуре газов на выходе из цилиндров и давлении и температуре окружающей среды.

Данные параметры определяются штатными измерительными приборами во время проведения реостатных испытаний.

Разработанный алгоритм позволяет с большей точностью определить величину индика-

Подвижной состав железных дорог

торной работы, текущее и среднее индикаторное давление, индикаторный КПД и удельный индикаторный расход топлива рабочего цикла.

Для оценки адекватности математической модели использовано сравнение расчетных и опытных индикаторных диаграмм, снятых сотрудниками НИИ ТКД в локомотивных депо Моршанска и Уссурийска для дизелей ПД1М и 10Д100.

Индицирование дизелей ПД1М проводилось на четвертой позиции контроллера машиниста (КМ), дизелей 10Д100 – на седьмой позиции для каждого цилиндра. Всего было испытано по 10 дизелей каждого типа, т. е. для дизелей ПД1М получено 60 индикаторных диаграмм, а для дизелей 10Д100 – 100. Пределы изменения исходных для расчета термодинамических параметров рабочего цикла для выбранной группы дизелей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Пределы изменения исходных данных при индицировании дизелей

Наименование параметра	Значение параметра для дизеля	
	ПД1М (4-я позиция КМ)	10Д100 (7-я позиция КМ)
Мощность ДГУ, кВт	149 – 220	945 – 1100
Частота вращения вала дизеля, мин ⁻¹	382 – 426	575 – 600
Давление наддува, МПа	0,099 – 0,107	Не измерялось
Температура наддувочного воздуха, К	304 – 341	Не измерялась
Максимальное давление сгорания, МПа	4,35 – 5,59	5,73 – 7,77
Температура газа за выпускными органами, К	513 – 697	660 – 713
Давление окружающей среды, МПа	0,097 – 0,099	0,097 – 0,100
Температура окружающей среды, К	261 – 308	265 – 305

Предварительный анализ индикаторных диаграмм, полученных для каждого дизеля, показывает, что отклонение нагрузки по цилиндрам не превышает установленной величины (рисунки 1 а, б).

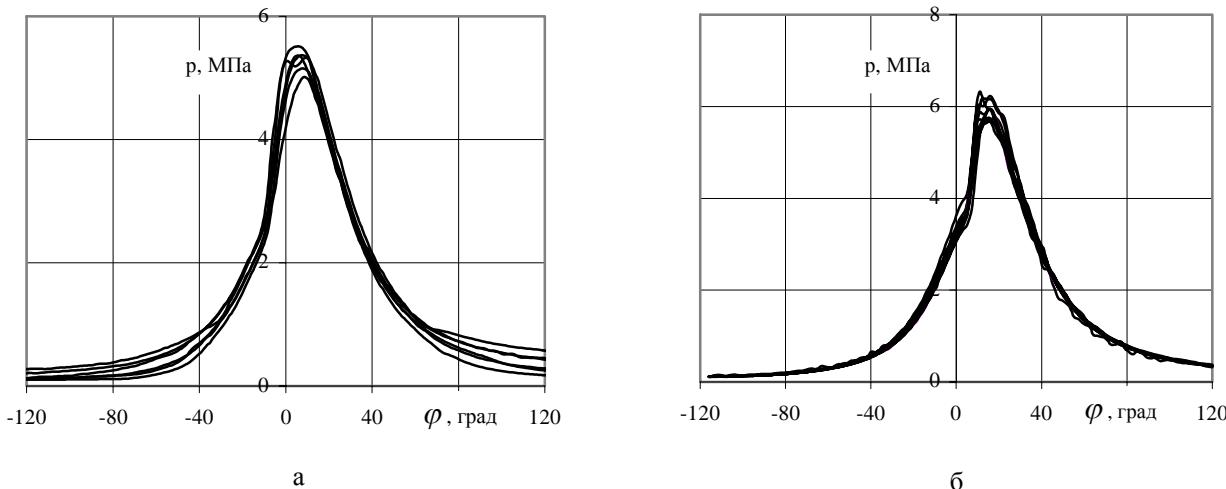


Рисунок 1 – Загрузка по цилиндрам дизелей: а – ПД1М, б – 10Д100

Подробный анализ результатов индицирования и математических расчетов показывает, что основное отличие диаграмм наблюдается в области сжатия и расширения рабочего тела и на начальной стадии горения топлива в цилиндре до положения внутренней мертвоточки

Подвижной состав железных дорог

(в.м.т.). Можно предположить, что процессы теплопередачи тепла от газов к охлаждающей жидкости, зависящие от температуры стенок и крышек цилиндра или днища поршней, изменяются с большой скоростью по причине быстрого изменения площади теплообмена и температуры теплоносителей. Приближаясь к положению в.м.т. по мере возрастания температуры и уменьшения объема камеры сгорания и площади теплообмена, это влияние становится несущественным. В этом случае наблюдается достаточно хорошее совпадение экспериментальных и теоретически полученных кривых (см. рисунок 1).

При выполнении расчетов предполагалось, что величина эффективной мощности по цилиндром дизеля одинакова, доля сгоревшего топлива по каждому цилинду x_z принималась равной 0,999.

Расчет эмпирических коэффициентов для серийных дизелей в уравнении (1) для построения линии сгорания осуществляется по критерию наименьшего отклонения максимального давления сгорания цикла, определенного в результате индицирования дизеля и математического расчета. Поскольку на начальном этапе расчета значение коэффициента избытка воздуха неизвестно, его определение выполняется по условию достижения наименьшего расхождения между значениями среднего эффективного давления, определенного по выходным параметрам работы дизеля и рассчитанного в результате математического моделирования.

На рисунке 2 показана последовательность расчета термодинамических параметров рабочего цикла и параметров выгорания топлива в цилиндре с учетом установленного угла опережения подачи топлива.

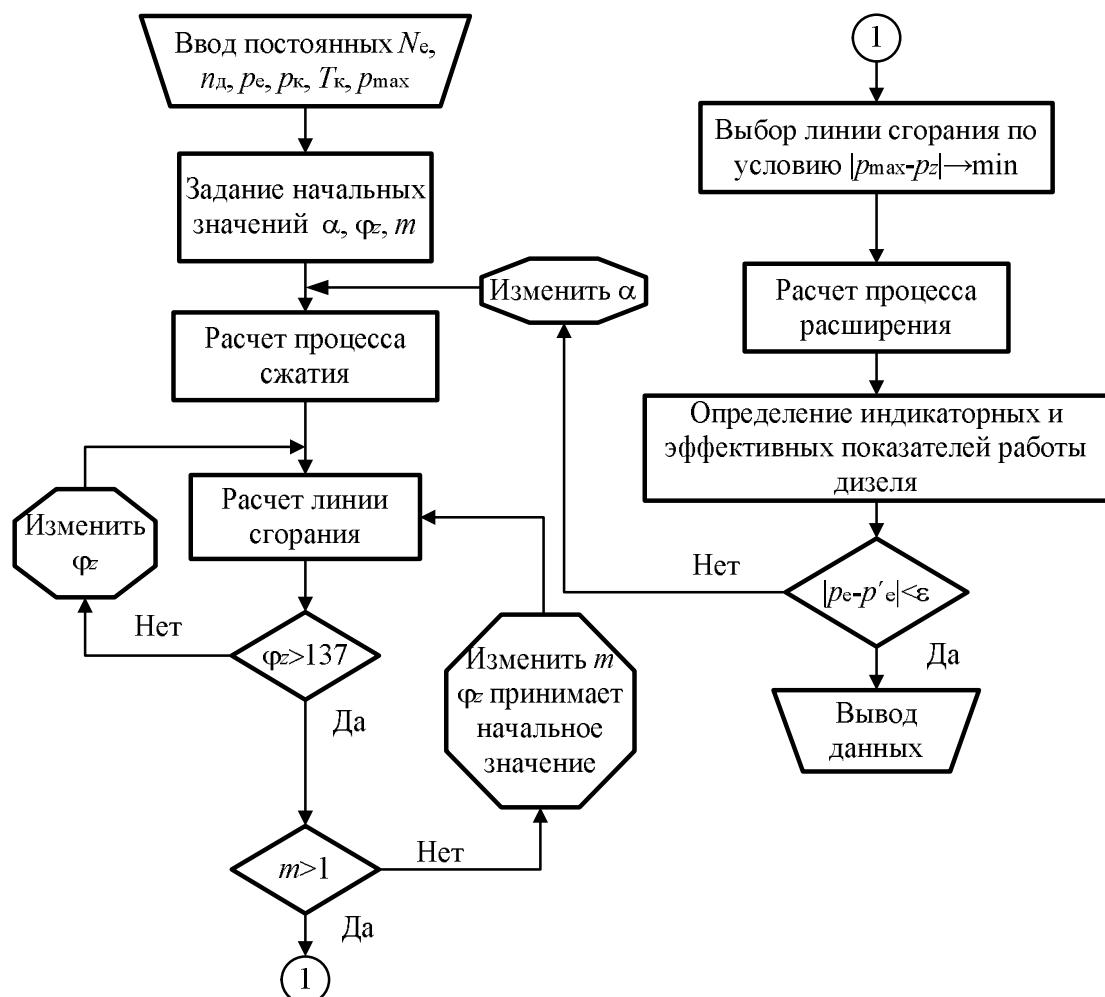
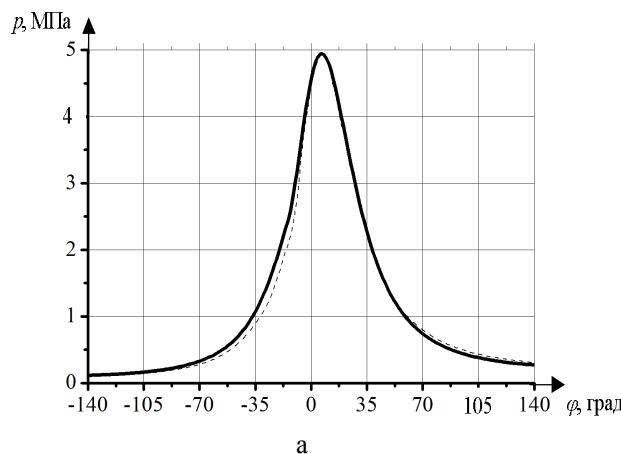


Рисунок 2 – Алгоритм расчета рабочего цикла дизеля ПД1М

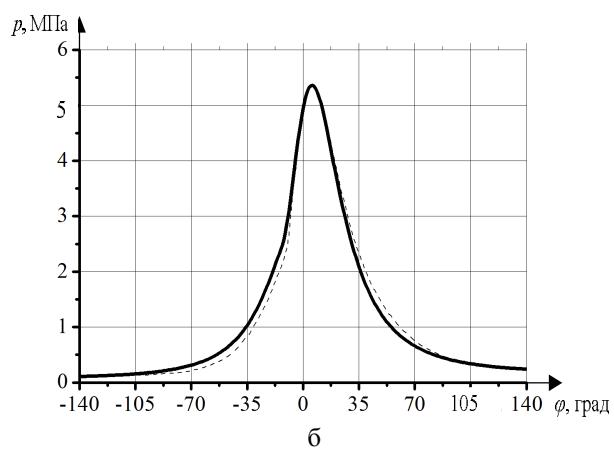
Подвижной состав железных дорог

В общем случае, как отмечалось выше, адекватность математической модели, принятой для математического описания процессов, протекающих внутри цилиндра, оценена по результатам сравнения.

На рисунках 3, а, б и 4, а, б представлены индикаторные диаграммы цилиндров дизелей ПД1М и 10Д100 тепловозов ТЭМ2 № 0046, № 7366 и тепловоза ТЭ10 № 0383.

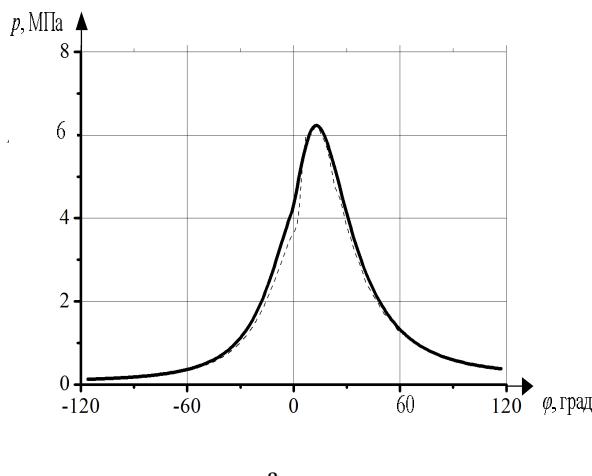


а

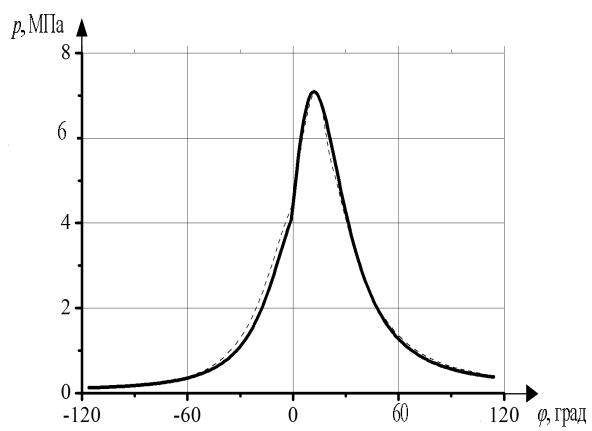


б

Рисунок 3 – Индикаторные диаграммы цилиндра дизеля ПД1М тепловозов ТЭМ2:
а – № 0046; б – № 7366; (- - - – опытная; — — — – расчетная)



а



б

Рисунок 4 – Индикаторные диаграммы цилиндра дизеля 10Д100 тепловоза ТЭ10 № 0383:
а – секция А; б – секция Б (- - - – опытная; — — — – расчетная)

Сравнение показывает, что математическая модель рабочего цикла достаточно точно отражает качественные и количественные характеристики реальных процессов изменения состояния рабочего тела в цилиндре дизеля.

Определенная в результате математического моделирования величина b_e удельного эффективного расхода топлива несколько меньше, чем ее паспортное значение. Так, для всех проанализированных дизелей типа ПД1М расход топлива b_e составил $0,190 \frac{\text{кг}}{\text{kВт} \cdot \text{ч}}$ (паспортное значение – $0,22 \frac{\text{кг}}{\text{kВт} \cdot \text{ч}}$), для дизелей 10Д100 – $0,199 \frac{\text{кг}}{\text{kВт} \cdot \text{ч}}$ (паспортное значение – $0,231 \frac{\text{кг}}{\text{kВт} \cdot \text{ч}}$).

Подвижной состав железных дорог

Удельный эффективный расход топлива дизелем для заданного режима расчета определялся по формуле:

$$b_e = \frac{3600q_z}{H_u \eta_m \xi l_{i\text{теор}}}, \quad (2)$$

где q_z – общая удельная использованная теплота сгорания;

H_u – низшая теплота сгорания топлива по рабочей массе;

η_m – механический к. п. д. дизеля;

ξ – коэффициент эффективности сгорания, $\xi = \psi\delta$;

ψ и δ – коэффициенты использования и выделения теплоты;

$l_{i\text{теор}}$ – индикаторная теоретическая (расчетная) работа цикла.

Величина индикаторной работы цикла, общая удельная использованная теплота сгорания и коэффициент эффективности сгорания напрямую зависят от продолжительности сгорания φ_z , а следовательно, и от доли топлива x_z , сгоревшего к моменту практического конца реакции сгорания (рисунок 5).

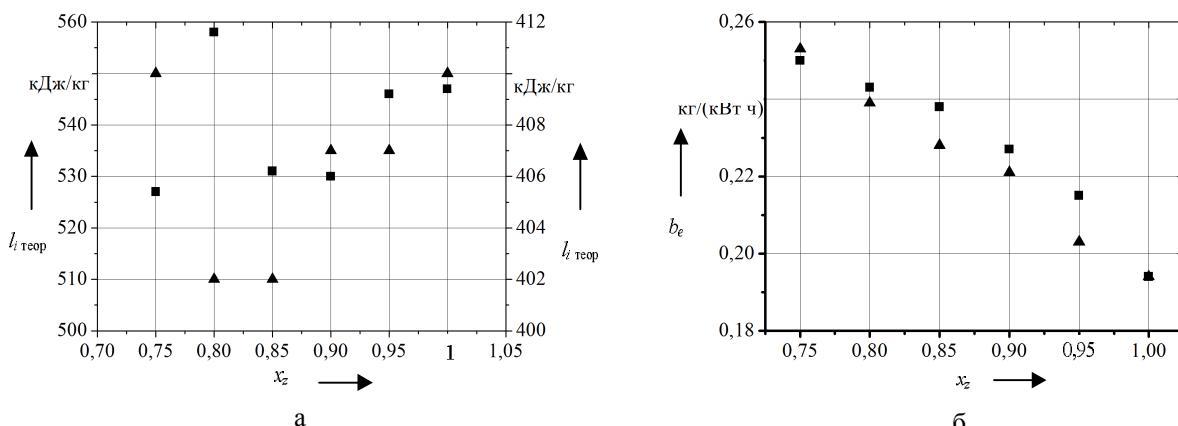


Рисунок 5 – Зависимость индикаторной работы дизеля (а) и удельного эффективного расхода топлива (б) от доли сгоревшего топлива (■ – дизель 10Д100; ▲ – дизель ПД1М)

Из диаграмм, представленных на рисунке 5, видно, что наименьшее отклонение между расчетными значениями удельного эффективного расхода топлива и индикаторной работой и их опытными (паспортными) значениями соответствует интервалу x_z , равному 0,80 – 0,95.

Величина доли сгоревшего топлива оказывает существенное влияние на смещение расчетной линии сгорания относительно в.м.т., приближая или удаляя ее от опытной кривой (рисунок 6). Так линия сгорания, рассчитанная при доле сгоревшего топлива раной $x_z = 0,95$, имеет наименьшие расхождения с опытной кривой.

По результатам обработки опытных индикаторных диаграмм, снятых для дизелей ПД1М и 10Д100 при различных режимах нагружения, можно сделать следующие выводы:

разработанная математическая модель удовлетворительно описывает рабочий цикл как двухтактного, так и четырехтактного дизелей для различных режимов нагружения при различном угле опережения подачи топлива;

для повышения точности расчетов при моделировании рабочего цикла целесообразно дополнить предложенную модель блоком расчета индикаторной работы цикла при изменении доли сгоревшего топлива, тем самым приблизиться к опытным значениям удельного эффективного расхода топлива и фактической линии сгорания топлива; провести дополнительные экспериментальные исследования, позволяющие оценить долю сгоревшего топлива

Подвижной состав железных дорог

при различных режимах нагрузки дизель-генераторной установки; в случае равномерной загрузки цилиндров, оцениваемой максимальным давлением сгорания, анализ рабочего процесса в целом по дизелю можно выполнять по некоторой «средней» индикаторной диаграмме, рассчитанной с учетом средних параметров работы ДГУ;

приведенная математическая модель позволяет отказаться от прямого индицирования дизеля, что существенно снижает затраты времени и средств на его проведение. При этом результаты моделирования могут оказаться более достоверными, поскольку исключаются ошибки, возникающие при проведении измерений.

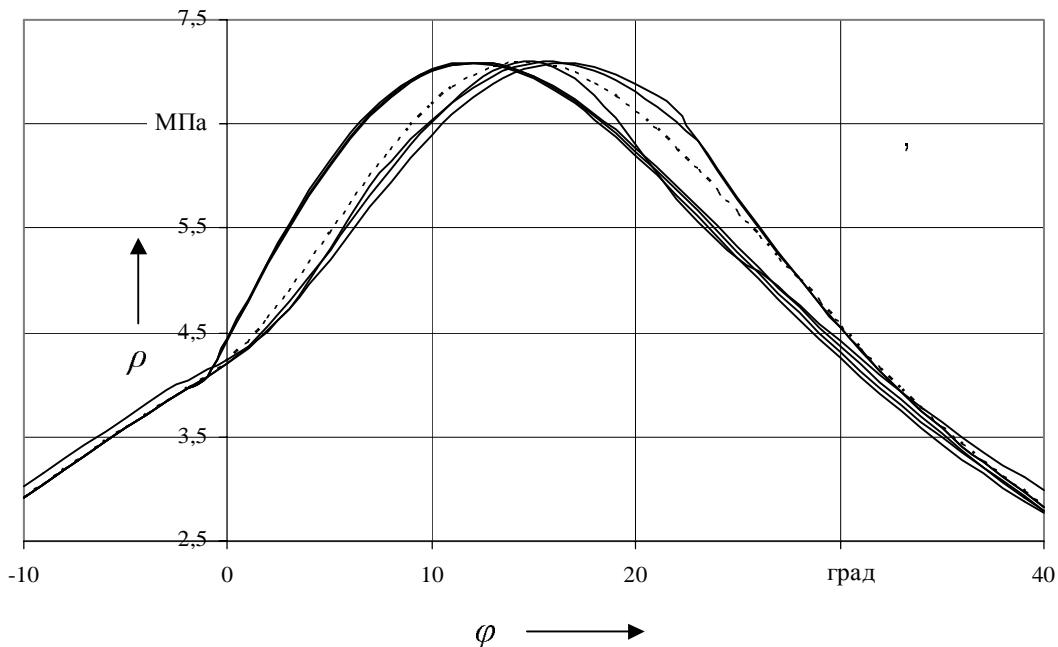


Рисунок 6 – Расчетные индикаторные диаграммы дизеля 10Д100 для различных долей сгоревшего топлива:
— опытная диаграмма; — при $x_c = 0,95$

Список литературы

1. Малышев, В. С. Техническая диагностика двигателей методом косвенного индицирования [Текст] / В. С. Малышев, А. Ю. Корегин // Сб. науч. статей. Всероссийская науч.-техн. конф. «Наука и образование 2002» / МГТУ. М., 2002.
2. Вибе, И. И. Новое о рабочем процессе двигателя [Текст] / И. И. Вибе. – Свердловск: Машгиз, 1962. – 272 с.
3. Кавтарадзе, Р. З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: Учебное пособие [Текст] / Р. З. Кавтарадзе / МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М., 2007. – 472 с.

УДК 629.4.083:543.423.1

А. А. Кузнецов, А. В. Глазырин, А. В. Шахов

ИНОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ТРАНСПОРТЕ И В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В данной работе рассмотрены вопросы совершенствования автоматизированных систем атомно-эмиссионного спектрального анализа для контроля качества материалов на транспорте и в промышленности. Предлагаются пути повышения точности, достоверности и расширения традиционного назначения таких

Подвижной состав железных дорог

систем за счет совершенствования программного обеспечения на основе запатентованных способов и устройств.

Системы контроля качества материалов в настоящее время широко используются на транспорте и в промышленности при ремонте и изготовлении сложной техники, к которой относится подвижной состав железных дорог. Большое внимание отводится надежности и безопасности технических средств подвижного состава. В условиях локомотивного депо и ремонтных предприятий ежедневно приходится сталкиваться с деталями, выполненными из разнообразных материалов. При этом недопустима подмена одной марки материала другой, поскольку возникает опасность невыполнения заложенных физико-механических свойств, таких как прочность, упругость, коррозионная стойкость и др.

Использование автоматизированных систем контроля предполагает принятие решения без участия человека. Большое значение уделяется переносу накопленного опыта специалистов и его воплощению в методическом и программном обеспечении автоматизированных систем контроля. В работе рассматриваются некоторые аспекты совершенствования приборов контроля состава материалов, а именно повышение помехоустойчивости и точности, автоматическое распознавание анализируемых элементов примесей в материалах и расширение их функционального назначения. Одним из лучших малогабаритных спектрометров является «Аргон-5СФ», выпускаемый ООО «Спектрософт» (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид спектрометра «Аргон-5»

Атомно-эмиссионный спектральный анализ (АЭСА) широко используется для определения марок различных сплавов на основе меди, алюминия, железа и др. Однако АЭСА является не устойчивым во времени из-за нестабильности генераторов спектрального излучения.

Для проведения анализа количественного состава материала выполняют предварительную калибровку по комплектам стандартных образцов (СО) с известным составом примесей. В результате для каждого материала или группы материалов получают градуировочную зависимость в виде $C = f(I_0)$ или $\lg C = f(\lg I_0)$, где C – количественное содержание анализируемого элемента, $I_0 = I/I_{\text{ср}}$ – относительная интенсивность спектральной линии, выражаемая отношением интенсивности спектральных линий анализируемого элемента и его линии сравнения.

В производственных условиях на процесс измерения количественного состава материала воздействует совокупность влияющих факторов, которые носят случайный характер. Под действием указанных факторов градуировочные графики изменяют свое положение, которое выражается в смещении и изменении угла наклона в случае линейной аппроксимации.

Примеры градуировочных графиков относительно простого цинкового сплава типа ЦАМ4-1, построенных в разное время (сентябрь, ноябрь 2009 г. и февраль 2010 г.), показаны на рисунках 2 – 5.

Подвижной состав железных дорог

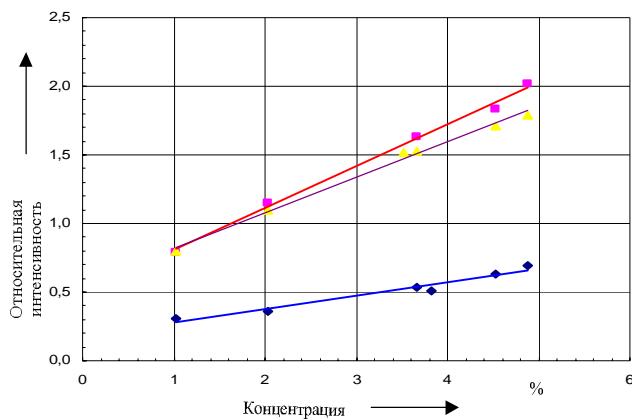


Рисунок 2 – Градуировочный график *Al* (308,22 нм), линия сравнения – *Zn* (307,59 нм),
 $R^2 = 0,782$

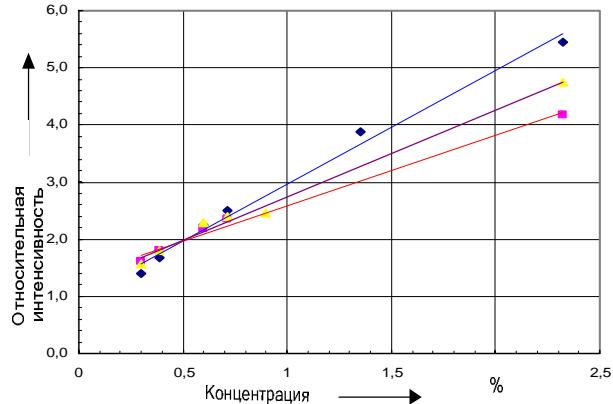


Рисунок 3 – Градуировочный график *Cu* (324,75 нм), линия сравнения – *Zn* (307,59 нм),
 $R^2 = 0,913$

Для построения графиков на рисунках 2, 3 использованы аналитические линии *Cu* (324,75 нм), *Al* (308,22 нм), в качестве линии сравнения использована линия *Zn* (307,59 нм). Анализ зависимостей, приведенных на рисунках 2, 3, показывает, что график алюминия со временем существенно изменяет свое положение ($R^2 = 0,782$), в то время как медь находится в относительно стабильном состоянии ($R^2 = 0,913$). Это можно объяснить тем, что линия сравнения не соответствует аналитической линии алюминия (аналитическая пара не является гомологичной), в то время как линии меди *Cu* (324,75 нм) и цинка *Zn* (307,59 нм) образуют гомологичную пару.

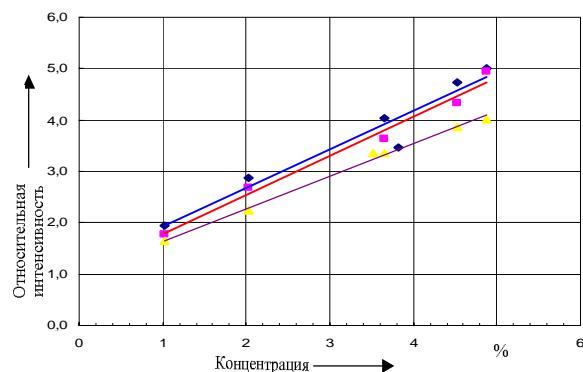


Рисунок 4 – Градуировочный график *Al* (308,22 нм), линия сравнения – *Zn* (301,84 нм),
 $R^2 = 0,964$

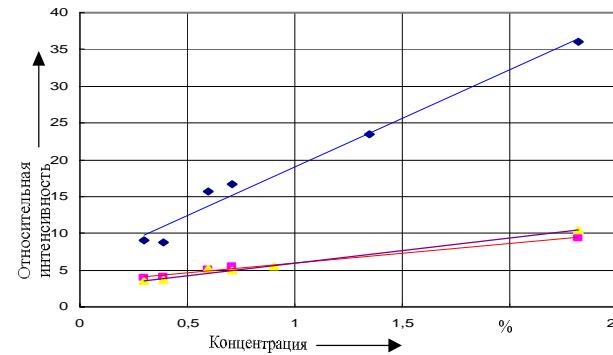


Рисунок 5 – Градуировочный график *Cu* (324,75 нм), линия сравнения – *Zn* (301,84 нм),
 $R^2 = 0,753$

Используя другую линию сравнения из того же набора зарегистрированных спектров для тех же аналитических линий – *Cu* (324,75 нм), *Al* (308,22 нм) – по отношению к линии *Zn* (301,84 нм), на рисунках 4, 5 увидим обратную картину – стабильности графиков алюминия и изменения положения графика меди. Теперь свойство гомологичности соответствует паре *Al/Zn* ($R^2 = 0,964$), и не соответствует паре *Cu/Zn* ($R^2 = 0,753$). Все представленные линии рекомендованы ГОСТ 17261-77 и 23328-95 на проведение спектрального анализа цинковых сплавов.

Представленные примеры иллюстрируют сложность в определении оптимальных аналитических пар с точки зрения получения устойчивых градуировочных графиков. Если при па-

Подвижной состав железных дорог

ралльном смещении графиков можно компенсировать систематические погрешности методом контрольного эталона, то наличие мультипликативных погрешностей методом контрольного эталона не компенсируется, что может вызывать значительные по величине ошибки в конечном результате анализа.

Идея предлагаемого способа получения устойчивых градуировочных графиков заключается в использовании вместо относительной интенсивности I_0 некоторой функции, аргументами которой кроме линии анализируемого элемента являются несколько линий сравнения, имеющих различные параметры яркости и потенциалов возбуждения – $F(I, I_{cp1}, I_{cp2}, I_{cp3})$ [1].

Современные многоканальные устройства регистрации спектров позволяют регистрировать линии в широком диапазоне длины волн, а современное программное обеспечение – построить градуировочный график по функции с аргументами, состоящими из параметров нескольких спектральных линий.

Построение устойчивых градуировочных графиков. На практике трудно оценить факторы, влияющие на смещение градуировочных зависимостей. Чаще всего на смещение графиков действует совокупность факторов, вызывающих изменение интенсивности спектральных линий. Изменение угла наклона графика можно объяснить различными потенциалами возбуждения и летучестью спектральных линий аналитической пары, поэтому они по-разному реагируют на изменение условий проведения эксперимента. На рисунке 6 показана интенсивность спектральных линий 674 образца сплава ЦАМ4-1 ($C_{Al} = 4,52$), взятая из наиболее отличающихся калибровок на рисунка 2 (сен 09 и ноя 09).

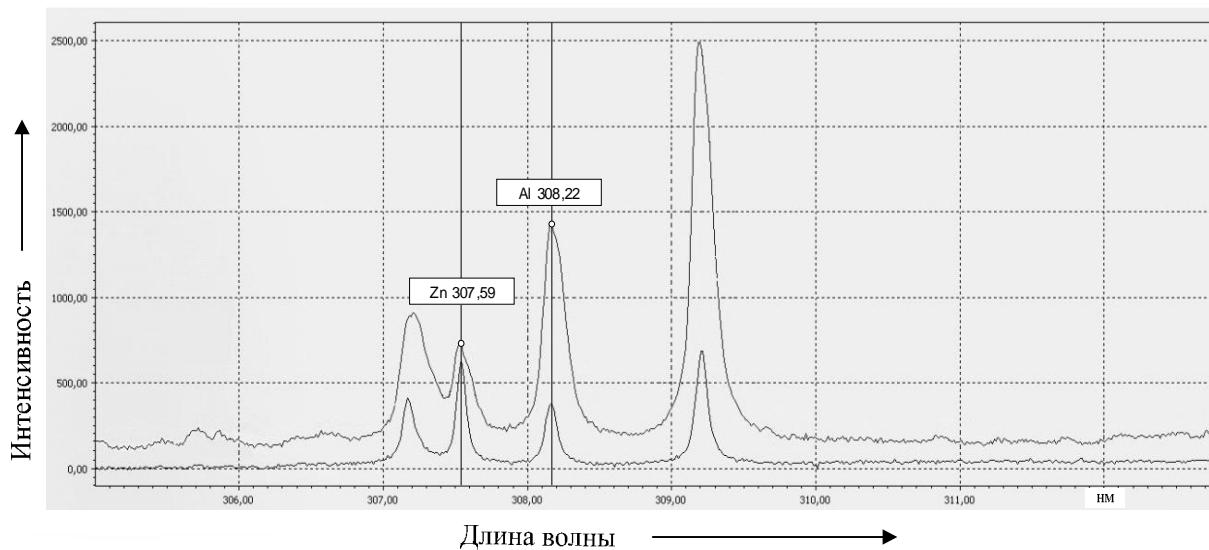


Рисунок 6 – Интенсивность линий аналитической пары 674 СО ЦАМ4-1, полученная при различных условиях

Для учета различных энергетических показателей спектральных линий при построении градуировочных графиков предлагается использовать функцию вида:

$$F = \frac{a_0 I_0}{a_1 I_{cp1} + a_2 I_{cp2} + a_3 I_{cp3}}, \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность спектральной линии анализируемого элемента;

I_{cp1} , I_{cp2} , I_{cp3} – интенсивность линий сравнения, имеющая различные энергетические показатели;

a_0 , a_1 , a_2 , a_3 – весовые коэффициенты.

Подвижной состав железных дорог

Задача использования такой функции заключается в подборе весовых коэффициентов для построения устойчивых градуировочных зависимостей. Подбор коэффициентов выполнен оптимизацией методом крутого восхождения.

Дополнительные условия, накладываемые при осуществлении оптимизации, – коэффициенты a_1, a_2, a_3 – следует изменять, если потенциал возбуждения линии анализируемого элемента I_0 находится между потенциалами линий сравнения $I_{\text{ср}1}, I_{\text{ср}2}, I_{\text{ср}3}$. Если же потенциал возбуждения линии анализируемого элемента I_0 больше или меньше потенциалов линий сравнения $I_{\text{ср}1}, I_{\text{ср}2}, I_{\text{ср}3}$, то оптимизацию следует проводить с варьированием параметра a_0 .

Градуировочные графики традиционно строятся в координатах $I_0 \leftrightarrow C$, где концентрация С отождествляется с осью абсцисс ($C \equiv x$), интенсивность – с осью ординат ($I \equiv y$). В предлагаемом способе калибровки прибора с осью ординат отождествляется значение устойчивой функции ($F \equiv y$).

Оптимизацию устойчивой функции по коэффициентам a_0, a_1, a_2, a_3 следует выполнять для различных условий проведения эксперимента, при котором графики в координатах $I_0 \leftrightarrow C$ имеют существенное расхождение. При этом в координатах $F \leftrightarrow C$ графики будут сближаться. В качестве функции отклика выбран коэффициент парной корреляции, рассчитанный для различных серий экспериментов.

Для расчета весовых коэффициентов применялся метод крутого восхождения по поверхности отклика. Для непрерывной однозначной функции кратчайшее направление к вершине описывается градиентом

$$\nabla \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} i + \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} j + \dots + \frac{\partial \varphi}{\partial x_k} k, \quad (2)$$

где $\nabla \varphi$ – обозначение градиента;

$\frac{\partial \varphi}{\partial x_k}$ – частные производные по k -му фактору;

i, j, k – единичные векторы в направлениях координатных осей.

В нашем случае, объединив выражения (1), (2), получим систему уравнений для оптимизации:

$$\begin{cases} y = \frac{a_0 x_0}{a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3}; \\ \varphi = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}. \end{cases} \quad (3)$$

Поскольку уравнения в системе (3) не являются непрерывными и значения аргументов представляют собой наборы дискретных значений, решение системы выполнялось численными методами с регулированием шага восхождения.

В результате оптимизации получены значения коэффициентов a_0, a_1, a_2, a_3 для градуировочных графиков, устойчивых к изменению внешних условий проведения эксперимента.

Результаты построения устойчивых градуировочных графиков, соответствующих данным рисунков 2 – 5, приведены на рисунках 7, 8. Анализ зависимостей на рисунках 7, 8 показал, что разброс точек относительно среднего значения в обоих случаях уменьшился ($R^2 = 0,984$; $R^2 = 0,981$).

Подвижной состав железных дорог

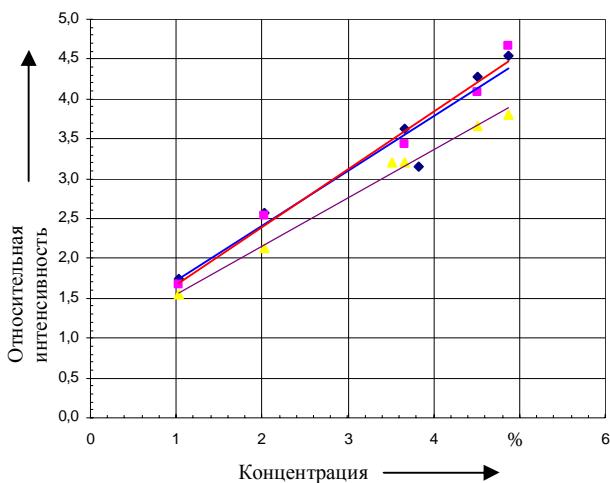


Рисунок 7 – Градуировочный график
Al (308,22 нм) и линий сравнения Zn (307,59 нм),
Zn (307,21 нм), Zn (301,84 нм), $R^2 = 0,984$

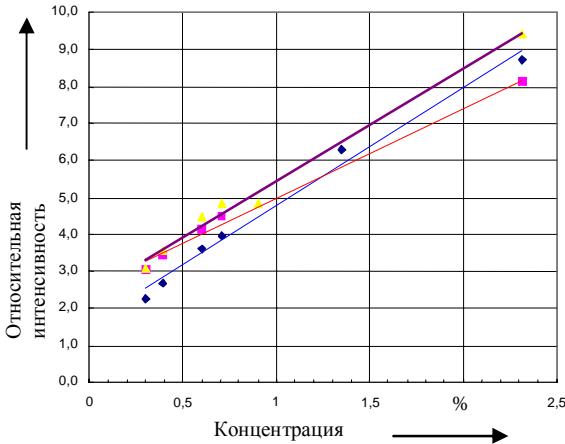


Рисунок 8 – Градуировочный график
Cu (324,75 нм) и линий сравнения Zn (307,59 нм),
Zn (307,21 нм), Zn (301,84 нм), $R^2 = 0,981$

Идентификация положения спектральных линий. Задачей предлагаемого способа обработки данных является повышение точности идентификации и измерения параметров спектральных линий [2]. Для повышения точности идентификации и последующего измерения параметров спектральных линий предлагается применять алгоритм, использующий сравнение двух спектров – эталонного и измеренного.

Для создания эталонного спектра используют моделирование его участков, содержащих анализируемую линию с характерными линиями, всегда присутствующими в спектре рассматриваемого материала, математическим выражением. Математическое выражение эталонного спектра принято с целью экономии вычислительных ресурсов управляющего компьютера.

Выполняется совмещение мгновенных значений измеренного спектра и аналитического выражения эталонного спектра. Степень соответствия оценивается взаимной корреляционной функцией при смещении эталонного спектра относительно измеренного на величину интервала поиска τ .

В качестве материнского вейвлета использовалась упрощенная функция Гаусса:

$$\Psi(t) = f + \sum_{j=0}^{k-1} I_j \cdot \text{Gauss}\left(\frac{t - L_j}{\sqrt[n]{I_j}}\right)^n, \quad (4)$$

где $\text{Gauss}(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$;

t – аргумент функции, выражающий изменение длины волны в спектре;

L – длина волны максимума интенсивности заданной линии;

I – максимум интенсивности заданной линии;

n – коэффициент разрешения спектрального прибора;

k – число характерных линий «окна» вблизи исследуемого элемента;

f – пороговое значение фона при сканировании спектра.

Для определения положения линии анализируемого элемента из числа k характерных линий в рассматриваемом окне ему присваивается порядковый номер $e \leq k$. Далее осуществляется поиск максимума или площадь под пиком интенсивности линии анализируемого элемента I_e , которая участвует в последующих расчетах количественного содержания.

Подвижной состав железных дорог

Графики измеренных (сплошная линия) и эталонных (пунктирная линия) спектров, полученных путем их вейвлет-моделирования для алюминиевого сплава типа АК-5, приведены на рисунках 9, 10. В качестве измеренных показаны участки спектров, содержащие линии анализируемых элементов примесей *Si* (252,82 нм); *Al* (265,2 нм); *Fe* (273,9 нм); *Mg* (285,2 нм); *Mn* (293,3 нм); *Al* (305,01 нм) *Cu* (324,7 нм) и характерные линии, всегда присутствующие в выбранном окне.

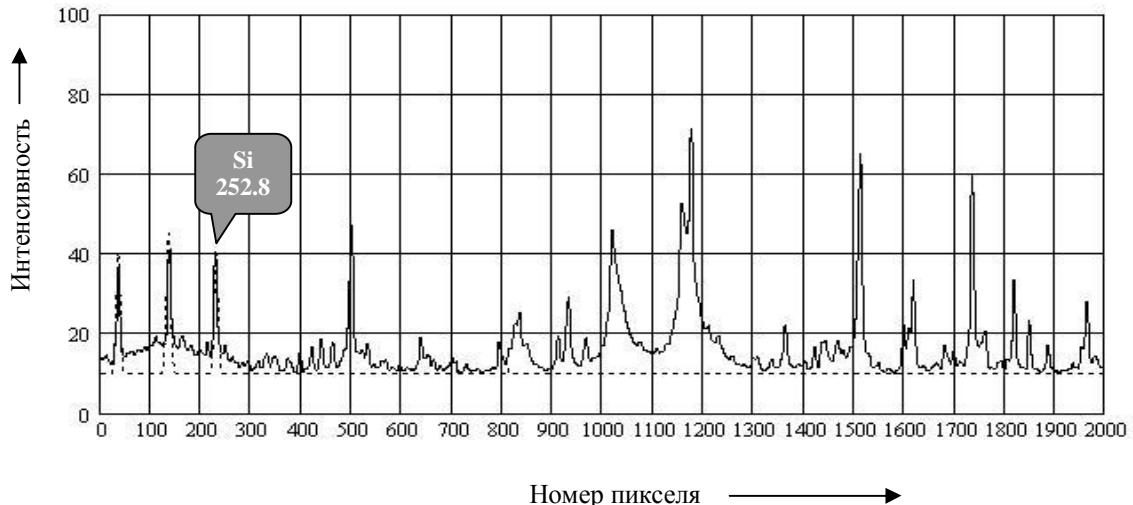


Рисунок 9 – Графики измеренного и эталонного спектров для *Si* (252,82 нм):
 $k = 3$; $e = 3$; $I = (39, 45, 41)$; $L = (43, 132, 239)$; $n = 2$; $f = 10$.

Для распознавания нужных аналитических линий, их наличия в спектре и дальнейшего определения максимума интенсивности рассчитывается взаимно корреляционная функция

$$R_{xy}(\tau) = \sum_t (\Psi(t, \tau) \cdot Ysm_t), \quad (5)$$

где Ysm_t – значения вектора измеренных мгновенных интенсивностей, склоненные методом скользящей медианы.

Наличие максимума вблизи нулевого значения указывает на правильность поиска и наличие нужной аналитической линии в спектре (качественный показатель идентификации). График взаимной корреляционной функции (5) для линии *Si* (252,82 нм) с параметром смещения $\tau = \pm 50$ пикселей показан на рисунке 10.

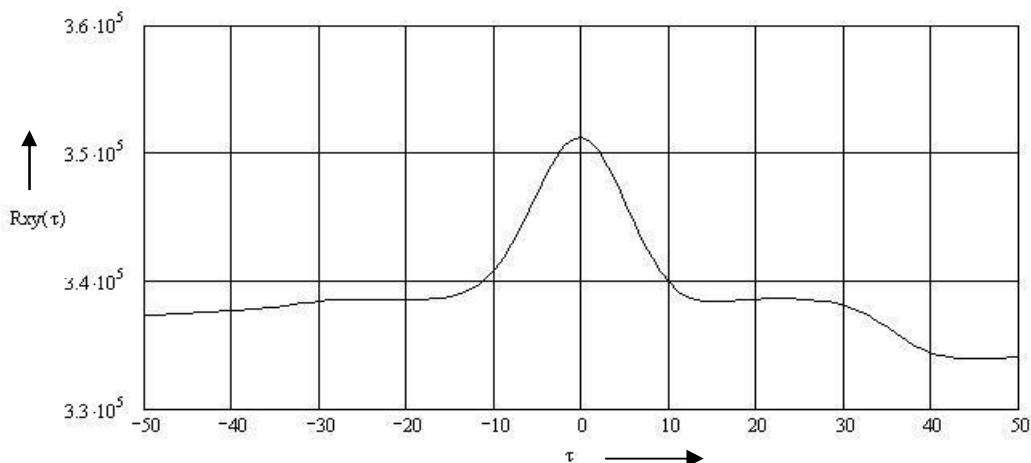


Рисунок 10 – График взаимной корреляционной функции для линии *Si* (252,82 нм)

Подвижной состав железных дорог

Количественная оценка контроля правильности идентификации найденных аналитических линий оценивалась путем расчета коэффициента корреляции ρ_{xy} и остаточного стандартного отклонения σ_{xy} для измеренного и эталонного спектров.

Предлагаемый способ контроля обеспечивает повышение точности идентификации и измерения параметров спектральных линий. Применение двухступенчатого алгоритма позволяет существенно повысить достоверность автоматизированного поиска нужных аналитических линий, особенно для материалов с насыщенными спектрами (стали, никелевых сплавов и др.) и уменьшить влияние мешающих факторов (температуры, нестабильности разряда плазмы и др.). Достоверная идентификация и последующее измерение параметров спектральных линий были получены во всех случаях при $\rho_{xy} > 0,9$ и $\sigma_{\text{отн}} < 10 \%$.

Исследование механических свойств материалов. Развитие методов атомно-эмиссионного спектрального анализа как средства контроля в литейном производстве определяется не только совершенствованием традиционных способов количественного анализа, но и исследованием новых направлений его практического применения. К числу перспективных направлений можно отнести возможность контроля структурных особенностей материалов и изделий, определяющих их физико-механические свойства. Ранее влияние структурных различий исследуемых материалов рассматривалось в качестве источника дополнительных погрешностей при проведении АЭСА материалов.

Для преодоления этих различий предлагается ввести в рассмотрение относительные аналитические системы обработки данных спектрометрирования, которые включают в свой состав параметры эталонов и исследуемых проб. Поскольку интенсивность спектральных линий является отображением внутреннего энергетического состояния исследуемого материала, такие системы характеризуются энергетическими параметрами.

Для построения этих систем необходимо определить совокупные энергетические параметры, критерии корректирования этих параметров, а следовательно, и критерии существования изолированных систем.

Если выразить анализируемую систему спектрального анализа через коэффициенты усиления излучения элемента пробы относительно СО U_{x_3} и элемента СО пробы относительно U_{3x} , то можно записать

$$U_{x_3} = 1/U_{3x} \quad (6)$$

или через относительный энергетический параметр L_{ij} :

$$L_0 = \sum L = L_{x_3} + L_{3x} = 1, \quad (7)$$

здесь

$$L_{x_3} = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \left[\frac{P_x (\sum P - \Delta P_3)}{P_{x \text{ cp}} (\sum P + \Delta P_3)} \right]; \quad (8)$$

$$L_{3x} = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \left[\frac{P_3 (\sum P - \Delta P_x)}{P_{3 \text{ cp}} (\sum P + \Delta P_x)} \right], \quad (9)$$

где P – измеряемые в процессе анализа параметры (почернение либо напряжение на интеграторе) линии исследуемого элемента пробы и эталона P_{x_3} и его линии сравнения $P_{(x_3) \text{ cp}}$;

$\Delta P_{x_3} = P_{x_3} - P_{(x_3) \text{ cp}}$ – дифференциальный аналитический параметр;

$\Sigma P_{x_3} = P_{x_3} + P_{(x_3) \text{ cp}} = \Sigma P = \text{const}$ – суммарный аналитический параметр.

Выражения (8), (9) являются основой для определения количественного состава отдельных компонентов исследуемых материалов.

Под изолированными системами спектрального анализа следует понимать такие системы, в которых для элемента пробы и СО доля теплообмена с внешней средой по отношению

Подвижной состав железных дорог

к энергии спектрального излучения остается постоянной в течение промежутка времени их обискивания. Такие пары образцов являются гомологичными, а их компоненты – энергетически совместимыми.

При наличии структурных отличий суммарное значение измеряемых параметров ΣP оказывается отличным от тех же параметров ΣP (при $\Delta P = \text{const}$). Это указывает на изменение структуры исследуемого материала относительно СО, а также на наличие ударов второго рода. Наличие этого типа взаимодействия приводит к изменению состава атомов (ионов) в облаке низкотемпературной плазмы (НТП), что влечет за собой изменение интенсивности спектрального излучения. Это обусловлено тем, что кинетическая энергия изменяется за счет изменения внутренней энергии системы.

С физической точки зрения изменение суммарной интенсивности излучения какого-либо элемента $\Delta(\Sigma P) = \Sigma P_{x_3} - \Sigma P_{k_m}$ при $\Delta P = \text{const}$ объясняется изменением структурных особенностей материала, в результате которых изменяется работа выхода элементарных частиц с поверхности электрода в облако плазмы, и действием ударов второго рода.

Составляющая изменения интенсивности излучения вследствие ударов второго рода в данном случае является помехой, так как вносит дополнительную составляющую «фазового» сдвига, обозначим ее через $\Delta\Psi_\phi$. Составляющую фазовых сдвигов, обусловленную структурными особенностями материалов, обозначим через $\Delta\Psi_{ct}$. Как будет показано ниже, $\Delta\Psi_\phi$ на порядок меньше $\Delta\Psi_{ct}$, но тем не менее с целью повышения точности она также должна учитываться.

Так как векторы L_{x_3} и $L_{\phi,x}$ относительно оси наблюдения составляют угол в 90° , то, переписывая уравнения (8), (9) в виде фазовой характеристики, получим выражение для расчета фазового смещения, определяющего только структурные особенности пробы относительно СО:

$$\Delta\Psi_{ct} = 90^\circ \quad \Delta L_{ct} = 90^\circ (1 - L_0'). \quad (10)$$

В выражении (10) влияние структурных особенностей проявляется в значениях измеряемых параметров ΔP_k и ΔP_m (или ΔP_{x_3}). Параметр L_0' вычисляется по выражению (7) для образцов с различной структурой [5].

Исследование параметров регистрации спектров с целью проверки чувствительности к изменению механических свойств (МС) и структурных параметров (СП) проводилось на образцах алюминиевого сплава типа АК5М2.

Для изменения структурного состояния материала, а следовательно, и его физико-механических свойств образцы подвергались введению модификаторов в виде ультрадисперсных порошков при кристаллизации из расплавленного состояния.

На основании исходных данных были рассчитаны количественное содержание, параметры механических свойств и структурного состояния исследуемого материала. Построены градиуровочные зависимости изменения указанных параметров по данным измерений с помощью традиционных методов. Исследованы графики зависимостей $HB(\Delta\Psi)$, $HB(\phi_{ij})$, $\sigma_E(\Delta\Psi)$, $\sigma_E(\phi_{ij})$, $\sigma_T(\Delta\Psi)$, $\sigma_T(\phi_{ij})$, $\delta(\Delta\Psi)$, $\delta(\phi_{ij})$. Графики зависимостей $HB(\Delta\Psi)$, $HB(\phi_{ij})$ представлены на рисунке 11.

В результате проведенных исследований получена физическая модель по определению традиционного количественного состава материала, а также предложено новое направление по определению механических свойств и структурных параметров. Представлены оборудование, режимы и алгоритм проведения спектрального анализа на примере алюминиевых сплавов [5].

В статье представлены результаты исследований, защищенные патентами РФ и регистрацией программного обеспечения [1] – [3]. В настоящее время сотрудниками ОмГУПСа выполняются совместные работы с изготовителями спектрального оборудования по использо-

Подвижной состав железных дорог

ванию интеллектуальной собственности в приборах спектрального анализа и их внедрения на предприятиях транспорта и промышленности.

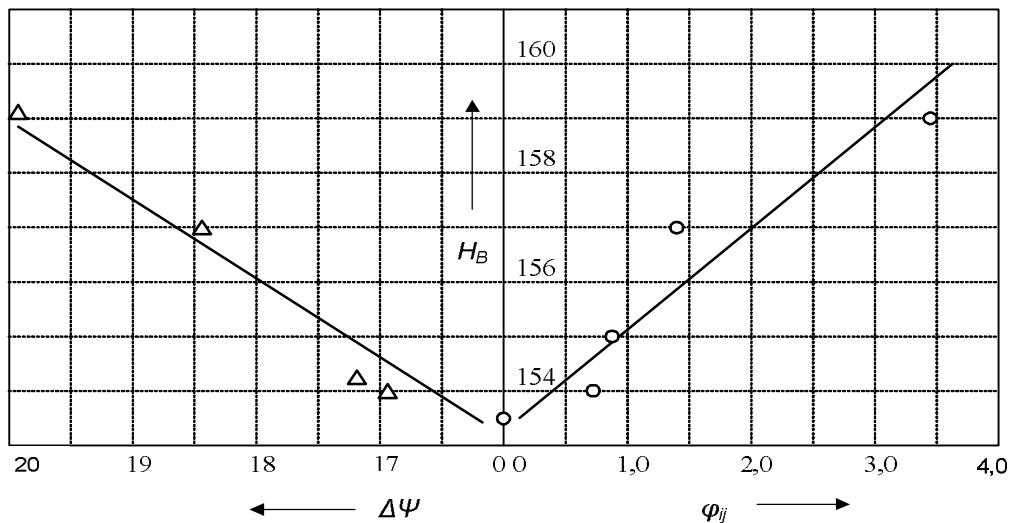


Рисунок 11 – Градуировочный график определения твердости H_B

Список литературы

1. Пат. 2005129189 Россия, МПК G01 N21/00. Способ определения содержания массовых долей элементов в материалах и сплавах [Текст] // А. А. Кузнецов, С. А. Морев, Д. С. Шишкин, А. И. Одинец 2007. Бюллетень № 1.
2. Пат. 2291406 Россия, МПК G01 N21/00, G01 J3/30. Способ измерения параметров спектральных линий при спектральном анализе [Текст] // А. А. Кузнецов, Д. А. Пимшин, А. И. Одинец; 2007. Бюллетень № 9.
3. Пимшин, Д. А. Анализатор спектра [Текст] / Д. А. Пимшин, А. А. Кузнецов // Компьютерные учебные программы и инновации / ВНТЦИ. М, 2006. № 12. Рег. номер 50200501327.
4. Зажирко, В. Н. Способ идентификации и измерения параметров спектральных линий в автоматизированных системах контроля [Текст] / В. Н. Зажирко, А. А. Кузнецов, С. Н. Овчаренко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. – № 5. – С. 39 – 45.
5. Кузнецов, А. А. Реализация комплексного спектрального анализа металлов на промышленных предприятиях и транспорте [Текст] / А. А. Кузнецов, Д. А. Пимшин // Омский научный вестник. – 2008. – № 1. – С. 162 – 165.

УДК 629.424.1

Б. А. Михеев

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГРАФ-МОДЕЛЬЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ

В статье рассмотрен подход к моделированию функциональных систем тепловозного дизеля, основанный на использовании аппарата теории графов. Представлены результаты поэтапного моделирования системы воздухоснабжения тепловозного дизеля.

К числу комплекса мер, повышающих эффективность эксплуатации дизельного подвижного состава, следует отнести масштабное внедрение встроенных, переносных и стационар-

Подвижной состав железных дорог

ных средств технической диагностики с формированием банка данных о состоянии локомотивов и их отдельных узлов для перехода на систему ремонта и технического обслуживания по фактическому состоянию. Разработка процедур технической диагностики предусматривает решение широкого круга задач и в первую очередь формирование соответствующего математического представления диагностируемого объекта с последующими обработкой и анализом данного представления [1 – 3].

Математическое представление сложных энергомеханических объектов, к которым относятся функциональные системы тепловозного дизеля (рисунок 1), позволяет построить процедуру диагностирования как процесс выявления соответствий между множествами признаков и неисправностей, на базе которых происходит распознавание последних [1 – 3]. В качестве математического аппарата моделирования рассмотрим аппарат, базирующийся на понятиях теории графов.



Рисунок 1 – Функциональные системы тепловозного дизеля

Функциональные системы тепловозного дизеля разнообразны по номенклатуре и конструкции составных элементов, техническим характеристикам и назначению. При этом все они имеют явно выраженную блочную структуру и во многом качественно схожие соотношения, связывающие параметры функционирования составных элементов, поэтому реализацию предлагаемого подхода рассмотрим на примере лишь одной из них. Критерием выбора для этой цели системы воздухоснабжения в данном случае служит тот факт, что совместно с тепловозным дизелем она образует сложную функционально взаимосвязанную энергомеханическую систему с обратными связями и поэтому является наиболее показательной в отношении рассматриваемого подхода.

Принципиальная схема системы воздухоснабжения тепловоза 2ТЭ116 представлена на рисунке 2 [4]. Согласно принципиальной схеме атмосферный воздух через заборное устройство и воздушные фильтры (1) засасывается компрессорным колесом турбокомпрессора (2), проходит воздухохладитель (3) и через впускной коллектор (4) поступает в цилиндры дизеля (5), выпускные газы из цилиндров по выпускному коллектору (6) подводятся к турбинному колесу турбокомпрессора (7) и удаляются в атмосферу.

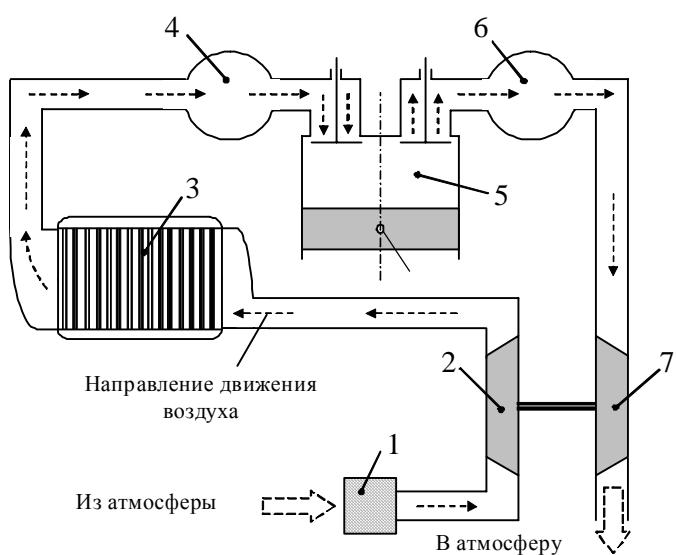


Рисунок 2 – Принципиальная схема системы воздухоснабжения

Подвижной состав железных дорог

В соответствии с описанными выше процессами выделим следующие свойства функционирования: забор и очистка атмосферного воздуха (x_{01}, x_1), сжатие поступающего воздуха (x_2) и его охлаждение (x_{03}, x_3), подвод порции свежего заряда воздуха к цилиндрям дизеля (x_4), подготовка процесса сжатия и выпуск отработавших газов из цилиндров (x_5), формирование потока выпускных газов и его подвод к турбине (x_6), использование энергии отработавших газов (x_7).

На рисунке 3 приведена функциональная блок-схема системы воздухоснабжения, на которой входные и выходные связи составных блоков отмечены символами выделенных свойств (номера блоков на рисунке 3 соответствуют обозначениям функциональных элементов принципиальной схемы).

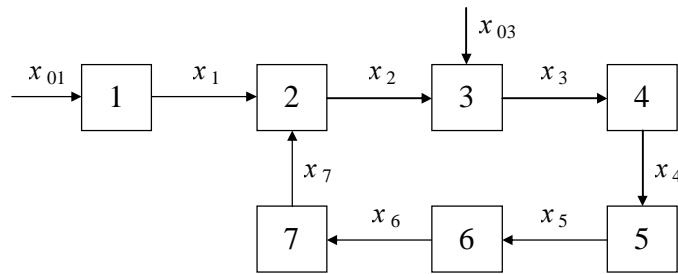


Рисунок 3 – Функциональная блок-схема системы воздухоснабжения

Используя формальные правила обращения функциональных блок схем [2], получаем граф-модель исследуемой системы в пространстве свойств, приведенную на рисунке 4. Представление параметров функциональной схемы x_i вершинами графа не может рассматриваться в качестве чисто формального акта, не дающего ничего нового. В действительности после такого представления получается новое качество описания объекта: от рассмотрения функциональных элементов и их входных и выходных взаимосвязей переходим к рассмотрению функциональных свойств и их отношений, изображаемых вершинами и ребрами графа (ребра графа не отображают входных и выходных воздействий, а свидетельствуют только о существовании связи или отношения между функциональными свойствами [2]).

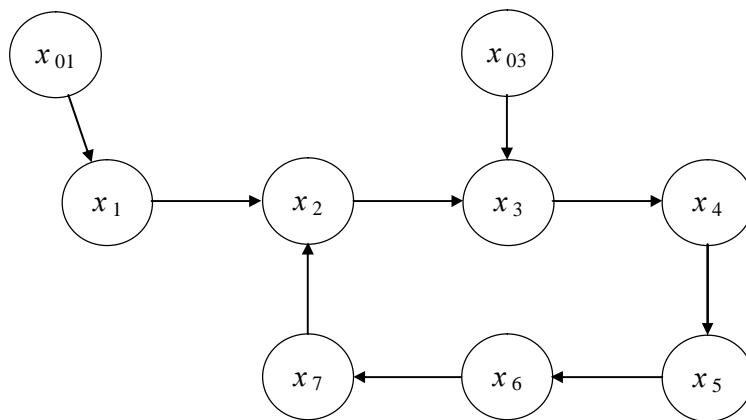


Рисунок 4 – Граф-модель системы воздухоснабжения в пространстве свойств (G)

Полученная граф-модель системы воздухоснабжения в пространстве свойств G является исходной для построения граф-модели объекта в пространстве параметров G_n , которая получается путем представления каждого свойства x_i параметрами основного процесса функционирования (множество $F = \{f_1, f_2, \dots, f_g\}$), количественными характеристиками (множество $R = \{r_1, r_2, \dots, r_l\}$) и параметрами других объектов, влияющих на работу исследуемого (множество $K = \{k_1, k_2, \dots, k_b\}$) с последующим сведением множеств F , R и K в единую систему. Из множеств F , R и K находим такие параметры f_g , r_l и k_b которые наиболее адекватно характе-

Подвижной состав железных дорог

ризуют процесс функционирования того или иного агрегата, узла или элемента исследуемой системы. Мощность каждого множества параметров определяется принятым уровнем конкретизации модели объекта исследования [2].

Для рассматриваемой системы свойства x_i представим следующим образом:

$$\begin{aligned}x_{01} &= \{P_o, T_o\}; & x_{03} &= \{v_{\text{в.он}}, G_{\text{в.он}}, P_{\text{в.он}}, T_{\text{в.он}}, P'_{\text{в.он}}, T'_{\text{в.он}}\}; & x_5 &= \{P_{ai}, T_{ai}, P_{\text{вг}i}, T_{\text{вг}i}\}; \\x_1 &= \{P'_o, T'_o\}; & x_3 &= \{P_{\text{вз.он}}, T_{\text{вз.он}}, G_{\text{вз.он}}, P'_{\text{вз.он}}, T'_{\text{вз.он}}\}; & x_6 &= \{P_{\text{вз.тк}}, T_{\text{вз.тк}}, G_{\text{в.г}}, P_{\text{вгвк}}, T_{\text{в.гвк}}\}; \\x_2 &= \{P'_{\text{вз.тк}}, T'_{\text{вз.тк}}\}; & x_4 &= \{P_{\text{вз.впк}}, T_{\text{вз.впк}}, G_{\text{в.зд}}\}; & x_7 &= \{v_{\text{в.г}}, n_{\text{т.к}}, G_{\text{т.к}}\},\end{aligned}$$

где P_o – давление атмосферного воздуха; T_o – температура окружающей среды; P'_o – давление воздуха после воздушных фильтров; T'_o – температура воздуха после воздушных фильтров; $P'_{\text{вз.тк}}$ – давление воздуха после турбокомпрессора; $T'_{\text{вз.тк}}$ – температура воздуха после турбокомпрессора; $v_{\text{в.он}}$ – линейная скорость воды в охладителе; $G_{\text{в.он}}$ – количество воды, проходящей через охладитель в единицу времени; $P_{\text{в.он}}$ – давление воды на входе в охладитель; $T_{\text{в.он}}$ – температура воды на входе в охладитель; $P'_{\text{в.он}}$ – давление воды после охладителя; $T'_{\text{в.он}}$ – температура воды после охладителя; $P_{\text{вз.он}}$ – давление воздуха на входе в охладитель; $G_{\text{вз.он}}$ – количество воздуха, проходящего через охладитель в единицу времени; $P'_{\text{вз.он}}$ – давление воздуха после охладителя; $T'_{\text{вз.он}}$ – температура воздуха после охладителя; $P_{\text{вз.впк}}$ – давление воздуха во впускном коллекторе; $T_{\text{вз.впк}}$ – температура воздуха во впускном коллекторе; $G_{\text{вз.д}}$ – количество воздуха, подводимого к цилиндром дизеля в единицу времени; P_{ai} – давление начала сжатия i -го цилиндра; T_{ai} – температура начала сжатия i -го цилиндра; $P_{\text{в.г}i}$ – давление выпускных газов на выходе i -го цилиндра; $T_{\text{в.г}i}$ – температура выпускных газов на выходе i -го цилиндра; $P_{\text{вз.тк}}$ – давление воздуха на входе в турбокомпрессор; $T_{\text{вз.тк}}$ – температура воздуха на входе в турбокомпрессор; $G_{\text{в.г}}$ – количество выпускных газов, подводимых к турбокомпрессору в единицу времени; $P_{\text{вг.вк}}$ – давление воздуха в выпускном коллекторе; $T_{\text{вг.вк}}$ – температура воздуха в выпускном коллекторе; $v_{\text{в.г}}$ – скорость выпускных газов на лопатках турбокомпрессора; $n_{\text{тк}}$ – частота вращения турбокомпрессора; $G_{\text{тк}}$ – производительность турбокомпрессора. При этом $P_o, T_o, v_{\text{в.он}}, G_{\text{в.он}}, P_{\text{в.он}}, T_{\text{в.он}}, P'_{\text{в.он}}, T'_{\text{в.он}} \in K$, а $G_{\text{вз.д}}, P_{ai}, T_{ai} \in R$. Остальные параметры являются параметрами основного процесса функционирования (множество F).

Выделенные параметры соединяют между собой ребрами в соответствии с физикой функционирования объекта и с учетом требования гомоморфного отображения графов [2]. Ребра проводятся независимо от того, известна ли связывающая вершины аналитическая и количественная зависимость или эта связь носит только качественный характер.

В результате получаем граф-модель нормального функционирования системы воздухо-снабжения в пространстве параметров, представленную на рисунке 5.

В технической диагностике модель объекта должна быть представлена в пространстве параметров с учетом возможных дефектов и нарушений функционирования.

Исходя из этого на следующем этапе разработки граф-модели для соответствующих вершин f_g, r_l в виде прообразов $\Gamma^{-1}(f_g), \Gamma^{-1}(r_l)$ указываем те структурные параметры e_n (множество $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$), от значения которых непосредственно зависят значения параметров f_g или r_l . Глубина исследования в нашем случае распространяется до агрегатов и отдельных узлов системы воздухоснабжения и не рассматривает ее отдельные элементы, поэтому описание структурных параметров подмножества E реализуем в терминах теории размытых категорий [2].

Каждый структурный параметр представляется возможными состояниями d_p (множество $D = \{d_1, d_2, \dots, d_p\}$). Совокупность элементов множества D образует список дефектов, подлежащих распознаванию. Список дефектов формируется по данным статистики и считается заданным [2].

Подвижной состав железных дорог

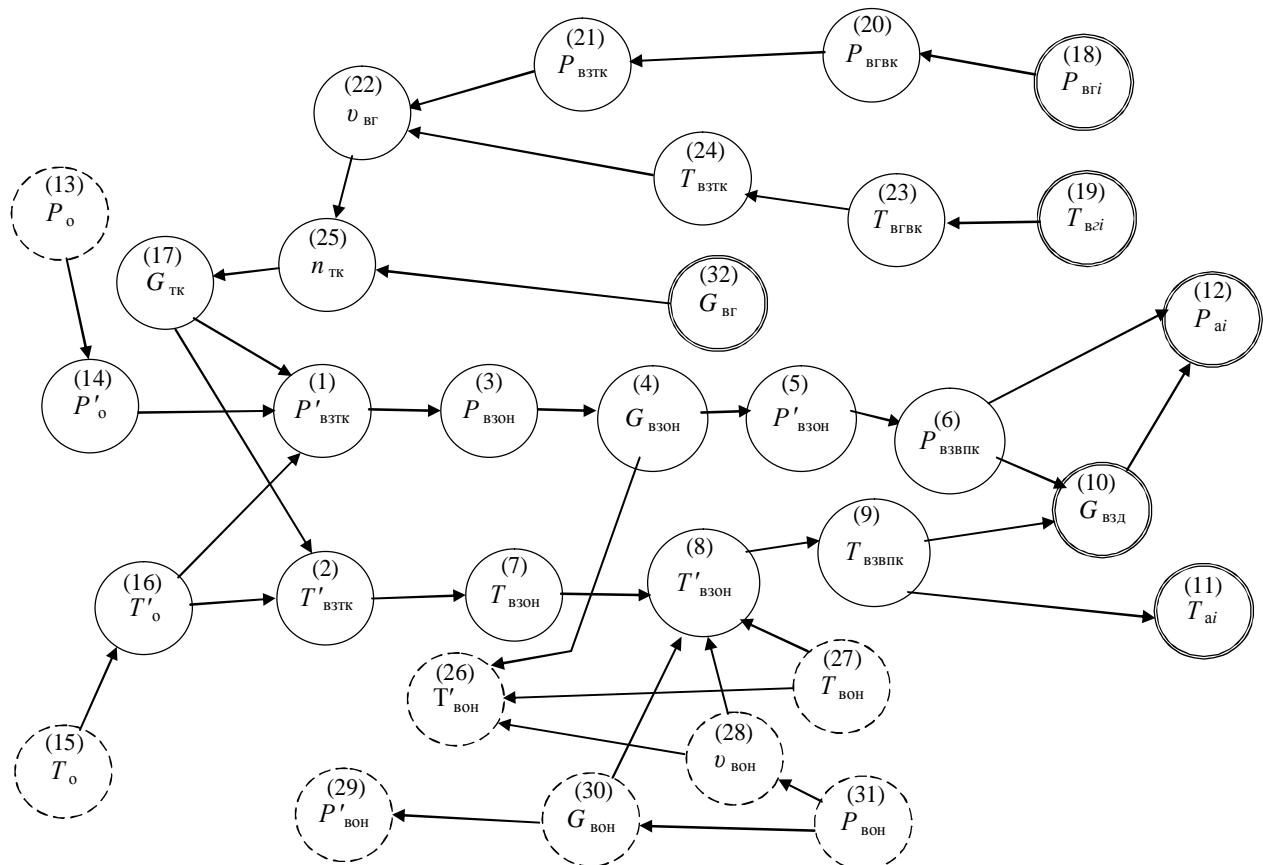


Рисунок 5 – Граф-модель системы воздухоснабжения в пространстве параметров (G_n)

Фрагмент дополненной граф-модели представлен на рисунке 6.

Кроме графической реализации разработанной модели системы воздухоснабжения в пространстве свойств и параметров существуют и другие способы задания графа.

Для многих практических задач технической диагностики удобным является описание граф-моделей с помощью матриц [1 – 3]. Обычно используют матрицы инцидентности и матрицы смежности. Понятия матриц инцидентностей и смежностей используются на различных этапах обработки граф-моделей, поскольку они полностью определяют понятие графа [5, 6].

Запись графа $G = (X, U)$, состоящего из вершин $x_i \in X$ и ребер $u_{ij} \in U$, посредством матриц смежностей заключается в математическом выражении взаимосвязей между вершинами графа. Матрица смежности граф-модели записывается в виде квадратной матрицы $A = [a_{ij}]$ размером $n \times n$, где n – число вершин граф-модели. Элемент a_{ij} этой матрицы, стоящий на пе-

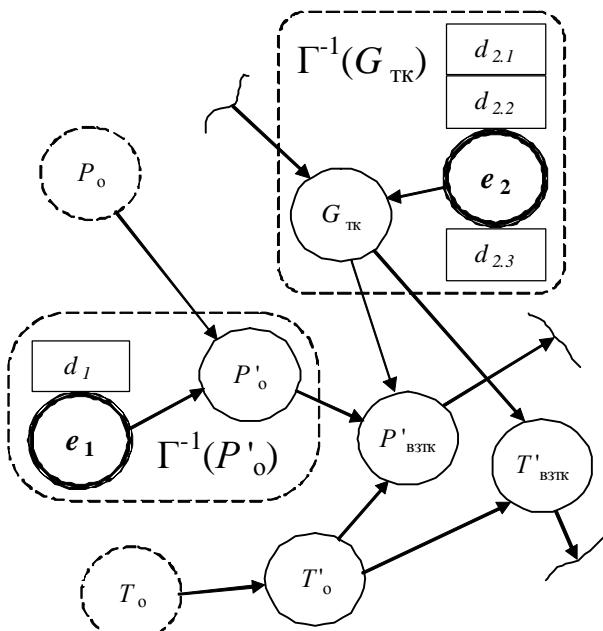


Рисунок 6 – Фрагмент дополненной граф-модели системы воздухоснабжения в пространстве параметров (G'_n):
 e_1 – состояние воздушного фильтра; e_2 – состояние компрессора; d_1 – засорение сетки воздушного фильтра;
 $d_{2,1}$ – износ и разрушение подшипников;
 $d_{2,2}$ – разбалансировка ротора; $d_{2,3}$ – изменение характеристик рабочих лопаток

Подвижной состав железных дорог

рессечении i -й строки и j -го столбца, представляет собой коэффициент смежности и принимает значение 0 или 1, определяемое следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } x_i \text{ имеет ребро } u_{ij}, \text{ направленное в вершину } x_j; \\ 0 - & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Матрица смежности граф-модели G_n рассмотренной системы (см. рисунок 5) приведена на рисунке 7. Для составлении матрицы смежности A каждой вершине графа G_n в произвольном порядке был присвоен порядковый номер.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
16	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
17	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
27	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		
28	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0		
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		

Рисунок 7 – Матрица смежности A графа G_n

Если каждому ребру u_{ij} графа-модели G_n или G'_n поставить в соответствие вещественное число $\rho(x_i, x_j)$, называемое весом ребра, то для такого взвешенного графа по аналогии с матрицей смежности определяется матрица весов. Введение в граф-модель веса элементов как дуг, так и вершин позволяет более полно отобразить реальные отношения между параметрами исследуемого объекта. Взвешивание элементов граф-модели предполагает наличие глубокого знания объекта, происходящих в нем процессов и требует привлечения компетентных специалистов – экспертов, а в ряде случаев еще и использование априорной, в основном статистической, информации о имеющих место причинно-следственных связях в объекте [2].

Таким образом, проведенные исследования показали, что, используя понятия теории графов и представляя функционирование исследуемой системы причинно-следственными связями между ее составными элементами, можно составить математическую модель объекта. Полученная таким образом математическая модель наглядно представляется в пространстве свойств или параметров и может быть интерпретирована в матрицу смежности, что дает возможность ее последующего анализа и обработки с целью организации процедур технической

Подвижной состав железных дорог

диагностики. Теоретические и практические вопросы использования граф-моделей для построения процедур технического диагностирования широко представлены в работах [1 – 3, 7] и в настоящей статье не рассматриваются.

Список литературы

1. Бервинов, В. И. Техническое диагностирование локомотивов [Текст] / В. И. Бервинов / УМК МПС РФ. – М, 1998. – 193 с.
2. Диагностирование на граф-моделях: На примерах авиационной и автомобильной техники [Текст] / Я. Я. Осис, Я. А. Гельфандбен и др. – М.: Транспорт, 1991. – 244 с.
3. Пушкарев, И. Ф. Контроль и оценка технического состояния тепловозов [Текст] / И. Ф. Пушкарев, Э. А. Пахомов. – М.: Транспорт, 1985. – 160 с.
4. Тепловоз 2ТЭ116 [Текст] / С. П. Филонов, А. Е. Зибров и др. – М.: Транспорт, 1996. – 334 с.
5. Оре, О. Теория графов [Текст] / О. Оре. – М.: Наука, 1980. – 336 с.
6. Лекции по теории графов [Текст] / В. А. Емеличев, О. И. Мельников и др. – М.: Наука, 1990. – 383 с.
7. Харламов, В. В. Методы и средства диагностирования технического состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей и других коллекторных машин постоянного тока [Текст] / В. В. Харламов / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2002. – 233 с.

УДК 621.81.002:621.9.65.015

А. А. Ражковский, А. Г. Петракова, Т. Г. Бунькова

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПРИ РЕМОНТЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Статья посвящена развитию входного контроля качества объектов железнодорожного транспорта. Оптимизация последовательности действий этапов контроля позволит упростить механизм определения качества, а также определить ресурс объекта контроля.

Контроль качества продукции занимает особое место в технологическом процессе производства или ремонта и является неотъемлемым условием ремонтного производства, которое позволяет обеспечивать и поддерживать необходимый уровень технического состояния подвижного состава. Он представляет собой совокупность взаимосвязанных объектов и субъектов контроля, методов и средств оценки качества изделий на различных этапах жизненного цикла продукции и уровнях управления качеством. Эффективная система контроля позволяет осуществлять целенаправленное воздействие на уровень качества выпускаемой продукции.

Оценка уровня качества продукции является основой для выработки необходимых управляющих решений. В общем случае согласно ГОСТ 15467-79 она состоит из следующих этапов:

- выбор номенклатуры показателей качества и обоснование ее необходимости и достаточности;
- выбор или разработка методов определения значений показателей качества;
- выбор базовых значений показателей и исходных данных для определения фактических значений показателей качества оцениваемой продукции;

Подвижной состав железных дорог

- определение фактических значений показателей качества и их сопоставление с базовыми;
- сравнительный анализ вариантов возможных решений и нахождение наилучшего;
- обоснование рекомендаций для принятия управляющего решения.

Содержание перечисленных этапов и объемов работ существенным образом зависит от цели оценки качества продукции. Организация такого контроля заключается

- в проектировании и осуществлении процесса контроля качества;
- определении организационных форм контроля;
- выборе и технико-экономическом обосновании средств и методов контроля;
- обеспечении взаимодействия всех элементов системы контроля качества продукции;
- разработке методов и систематическом проведении анализа брака и дефектов.

Технологию контроля качества продукции на объектах железнодорожного транспорта можно представить в виде схемы (рисунок 1).

Оценка технического состояния (качества) объектов контроля обосновывается определяющим показателем качества продукции. Для объектов железнодорожного транспорта таким показателем является ресурс детали, который характеризует наработку объекта контроля от начала его эксплуатации до перехода в предельное состояние. Таким образом, основным назначением контроля качества является получение информации в объеме, необходимом и достаточном для выполнения расчетов ресурса и оценки риска перехода детали в предельное состояние.

Важнейшим этапом оценки ресурса объекта контроля должны быть не только обнаружение дефектов, но, что более важно:

- обнаружение локальных зон развивающихся повреждений – зон концентрации напряжений;
- выявление наиболее опасных зон, являющихся наиболее вероятными местами разрушения объекта;
- определение параметров напряженно-деформированного состояния в наиболее опасных зонах;
- определение фактических структурно-механических характеристик материала;
- оценка скорости и направления развития повреждения на основе выявленного механизма развития повреждения.

В современном производстве оценка качества и надежности деталей неразрывно связана со средствами диагностики, которые позволяют оценить ресурс и определить ряд основных и важных параметров дефектов.

Схематично методы оценки качества представлены на рисунке 2. В целом их можно разделить на три основные группы: интегральные методы контроля, неразрушающие методы (дефектоскопия) и диагностика деградации свойств металла.

Диагностика деградации свойств металла, объединенная с интегральными методами контроля, позволяет проводить оценку существующей технологии изготовления и ремонта, а также определять возможность дальнейшей эксплуатации детали по зависимостям механических свойств от структуры металла, изменяющимся в процессе эксплуатации и приводящим к образованию усталостных трещин. Основными диагностическими параметрами или критериями контроля являются стандартизованные механические свойства, по которым можно не только определить работоспособность изделия и его устойчивость к образованию трещин, но и судить о поведении объекта контроля в реальных условиях эксплуатации и спрогнозировать ресурс детали. Таким образом, зная эмпирические зависимости предела прочности и текучести от твердости, в качестве метода контроля рекомендуется использовать электронно-динамическое твердометрирование.

В качестве интегрального метода предлагается использовать статистический метод, который позволяет определять значения критериев качества продукции с использованием пра-

Подвижной состав железных дорог

вил математической статистики, проводить анализ выполнения технологического процесса по ремонту или изготовлению деталей и его корректировку по ходу работы.

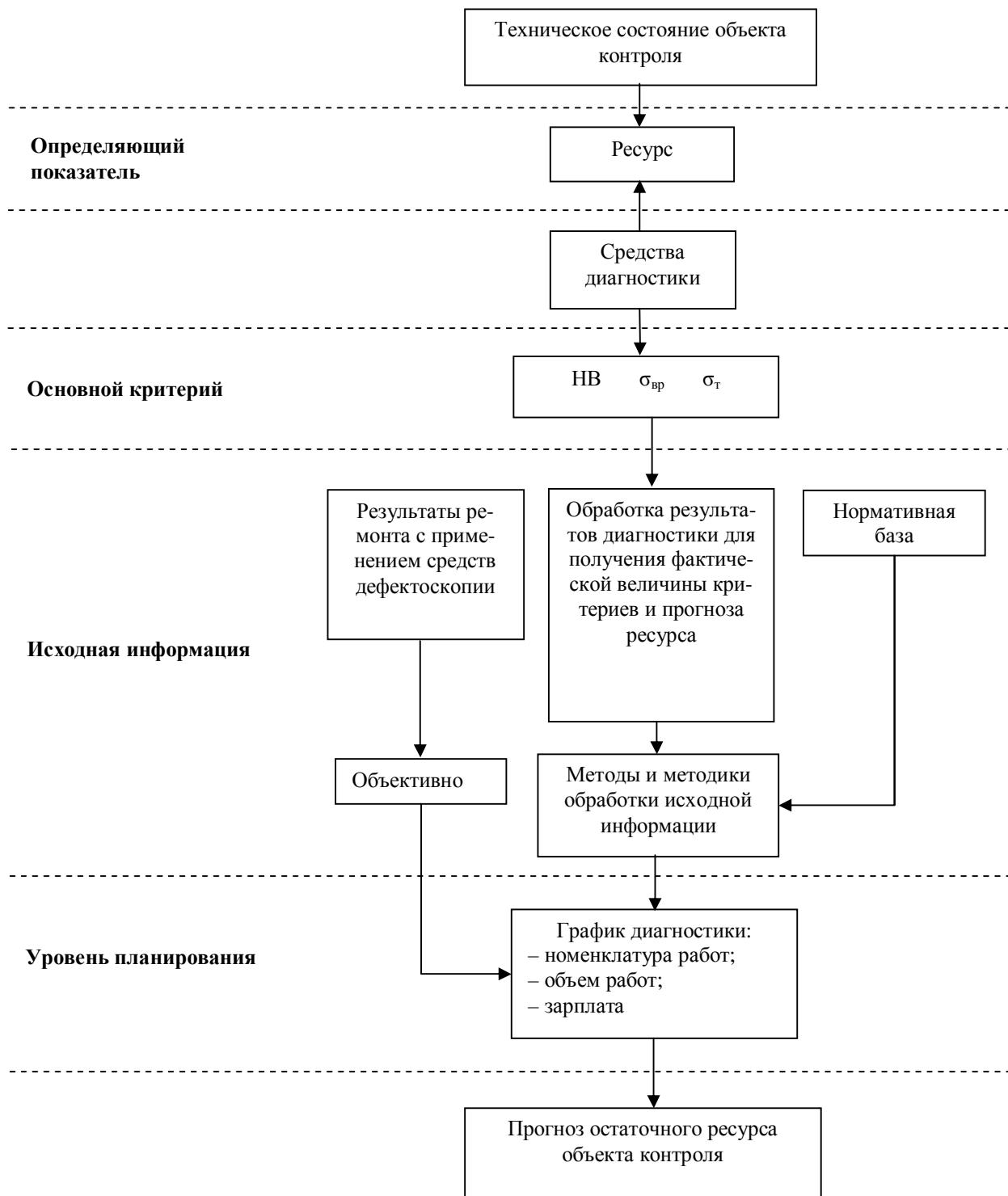


Рисунок 1 – Схема этапов технологии контроля качества объектов железнодорожного транспорта

Статистический контроль по ГОСТ Р 50779.11-2000 имеет два основных направления: контроль по альтернативному и по количественному признакам. Согласно ГОСТ Р ИСО 2859-1-2007 метод контроля по альтернативному признаку предполагает проверку изделий или его характеристик и оценку его на соответствие необходимым требованиям. Необходимые действия при осуществлении контроля включают в себя подсчет числа не-

Подвижной состав железных дорог

соответствующих единиц продукции или числа несоответствий, обнаруженных в случайной выборке.



Рисунок 2 – Методы оценки качества

Контроль по количественному признаку в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50779.74-99 начинают с отбора выборки заданного числа единиц продукции и измерения размеров или характеристик для того, чтобы иметь информацию не только о нахождении размера в определенных пределах, но и о его действительном значении. Решение о приемке партии принимают на основе вычисления среднего значения измерений и сравнения его с нормативным значением.

Преимущество контроля по альтернативному признаку – в большой робастности и простоте применения, что оправдывает значительные объемы выборки и повышенные затраты на контроль; этот метод контроля не требует высокой квалификации контролера.

Для выбора метода или методики контроля качества продукции необходимо определить ряд основных требований, учитывающих специфику ремонта на предприятиях ОАО «РЖД» – это мелкосерийное производство с небольшим объемом продукции и возможностью перехода от выборочного контроля к сплошному.

Данным требованиям соответствует контроль по количественному признаку при двух заданных границах контролируемого параметра. Предлагаемая технология проведения контроля и обработки статистического материала с использованием математического аппарата на основании ГОСТ Р 50779.74-99 позволила составить алгоритм обработки результатов диагностики (рисунок 3). Методика контроля начинается с того, что в соответствии со стандартами единицы продукции предъявляют для приемки группами, которые называют партиями P . Из каждой партии отбирают и контролируют выборку n .

Подвижной состав железных дорог

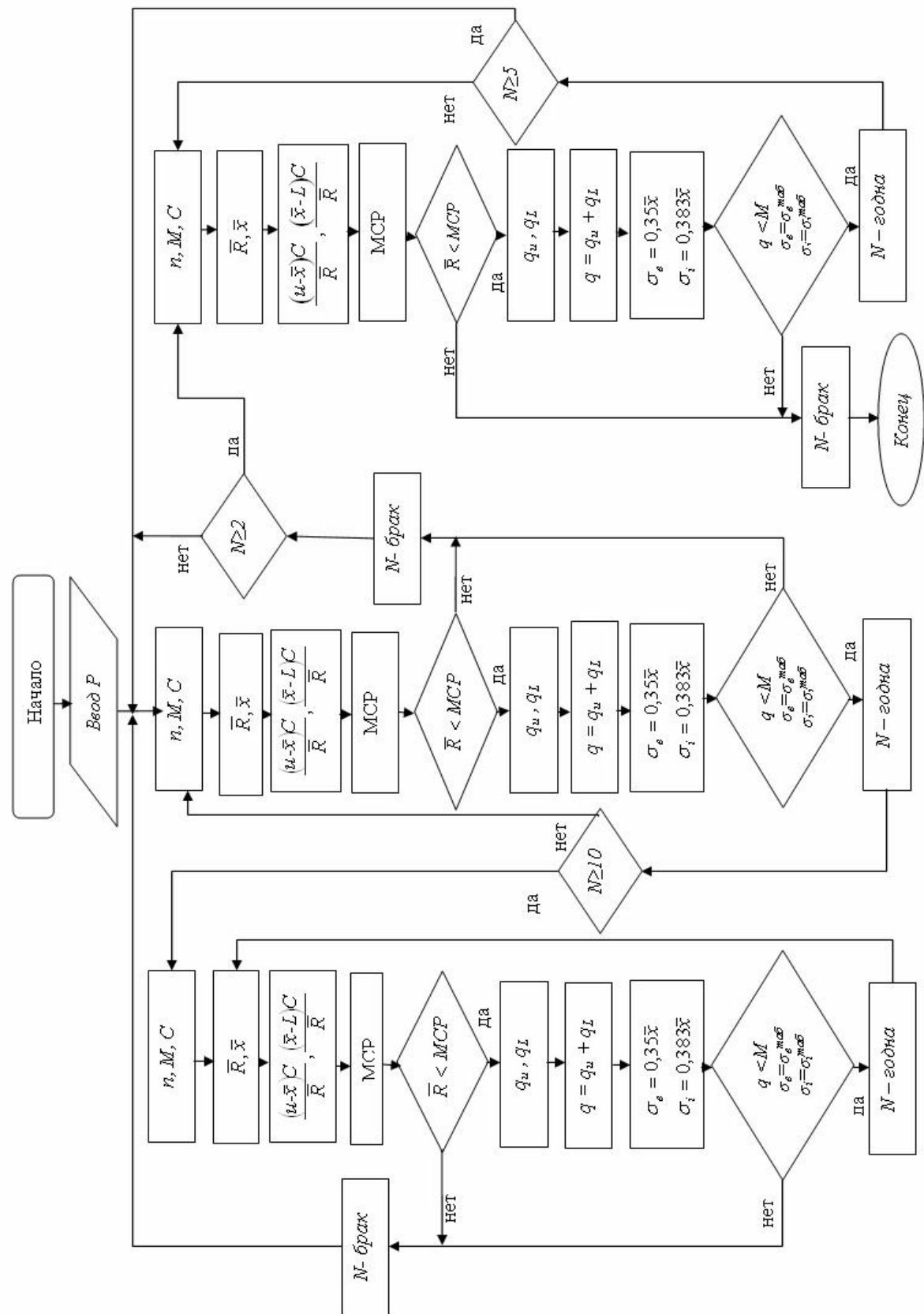


Рисунок 3 – Алгоритм технологии контроля качества

Подвижной состав железных дорог

Выборочный контроль должен приводить к снижению объема работы по контролю и уменьшению затрат. Если в процессе проведения контроля было забраковано две партии продукции или более, то согласно представленному алгоритму увеличивается объем выборки и ужесточаются требования к поступающей продукции. Если 10 или более партий были признаны годными, то осуществляется переход на ослабленный режим контроля. Если качество продукции систематически в норме, то от контроля не отказываются, поскольку необходим сигнал о возможном ухудшении качества продукции, поэтому организовывают ослабленный контроль.

Одним из последних организационных этапов контроля является уровень планирования, где необходимо учесть номенклатуру работ, их объем и зарплату.

Результатом входного контроля должен быть прогноз остаточного ресурса детали. Различия в механизмах накопления поврежденности при статическом и усталостном нагружении приводят к различному изменению твердости материала, что позволяет с измерением односторонне накопленной деформации по анизотропии скоростей поперечных упругих волн в сочетании с ударным методом внедрения индентора оценить остаточный ресурс материала. Согласно этому положению количество циклов производственного нагружения металла определяется следующим образом:

$$N = \left\{ \frac{0,383 \left(\left(\frac{HB_0 - HB_1}{HB_1} \right)_{\text{уст.н}} - \left(\frac{HB_0 - HB_1}{HB_1} \right)_{\text{стат}} \right)^{\frac{1}{j}}}{k_1 (p - p_{ct})^{\gamma-1}} \right\}, \quad (1)$$

где j , γ – коэффициенты;

p – параметр, характеризующий индивидуальный отклик материала на силовое нагружение;

HB_0 и HB_1 – начальное и текущее значения твердости;

$\left(\frac{HB_0 - HB_1}{HB_1} \right)_{\text{уст.н}}$ – замеры твердости при усталостном нагружении;

$\left(\frac{HB_0 - HB_1}{HB_1} \right)_{\text{стат}}$ – замеры твердости при статическом нагружении;

k_1 – коэффициент, определяющий сопротивление внедрению индентора.

Количество циклов нагружения до разрушения N^* выражается следующим образом:

$$N^* = \left\{ \frac{k_0^{(1)} + k_1^{(1)} p - \mu_{\text{отн}}}{k_1 (p - p_{ct})^\gamma} \right\}^{\frac{1}{j}} = \left\{ \frac{p k_0^{(1)} + p^2 k_1^{(1)} - p_{ct} \left(\frac{HB_0 - HB_1}{HB_1} \right)_{\text{уст.н}}}{p k_1 (p - p_{ct})^\gamma} \right\}^{\frac{1}{j}}, \quad (2)$$

где N^* – количество циклов нагружения до разрушения;

p , p_{ct} – параметр, характеризующий индивидуальный отклик материала на силовое нагружение;

$\mu_{\text{отн}}$ – относительное изменение вязкости;

k_1 , $k_0^{(1)}$, $k_1^{(1)}$ – коэффициенты, определяющие сопротивление внедрению индентора.

Подвижной состав железных дорог

Тогда поврежденность материала в соответствии с теорией Пальмгрена определяется в виде:

$$\psi = \frac{N}{N^*}. \quad (3)$$

Таким образом, на основании предложенного алгоритма (см. рисунок 3) и по технологии контроля качества (см. рисунок 1) можно оценить степень поврежденности материала объекта контроля.

УДК 629.424.1: 502.1

Е. И. Сквородников, М. В. Тарута, Ю. Б. Гришина

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДИЗЕЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье представлена методика статистической обработки протоколов экологических испытаний тепловозов серии ЧМЭ3. Представлен алгоритм, дающий возможность оценить полноту сгорания топлива в цилиндре двигателя, что позволит повысить точность оценки термодинамических параметров рабочего цикла дизеля.

Контроль количества вредных выбросов в отработавших газах тепловозных дизелей с использованием пунктов экологического контроля (ПЭКов) локомотивных депо осуществляется на ряде позиций контроллера машиниста (КМ) (не менее четырех) по содержанию оксидов азота (NO_x), оксидов углерода (CO), углеводородов (C_nH_m) в отработавших газах и их дымности (N). Результаты контроля оформляются в форме таблицы 1.

Предварительно перед обработкой информации для контроля технического состояния локомотива по результатам экологического испытаний необходимо выполнить ее первичную обработку с целью исключения случайных, связанных с технологией реостатных испытаний и квалификацией обслуживающего персонала, и закономерных, связанных с точностью средств измерений, ошибок.

Известно, что количество вредных выбросов ($\text{NO}_x, \text{CO}, \text{C}_n\text{H}_m$) и дымность отработавших газов (N) дизель-генераторных установок магистральных и маневровых тепловозов есть величины случайные и зависят

от возраста локомотива, который характеризуется его наработкой (км, ч) от постройки до момента контроля;

параметров настройки и экономичности дизеля, его технического состояния, которое может характеризоваться наработкой между плановыми и неплановыми ремонтами, или показателями эксплуатационной надежности тепловоза и его основных узлов и агрегатов за определенный промежуток времени;

системы и технологии экологических испытаний, квалификации обслуживающего персонала и периодичности контроля качества измерений;

условий эксплуатации и степени использования результатов экологического контроля в системе ремонта тепловозов по состоянию или при формировании объемов плановых технических обслуживаний и ремонтов.

На рисунке 1 приведены гистограммы, характеризующие распределение вредных выбросов и дымности отработавших газов контрольной группы тепловозов (92 тепловоза серии

Подвижной состав железных дорог

ЧМЭ 3) для нулевой позиции контроллера машиниста и номинального режима работы (8-я позиция).

Таблица 1 – Форма протокола экологических испытаний

Протокол испытаний тепловоза серии			№			
Тип дизеля		Номер дизеля				
Дата изготовления		Пробег после изготовления, км				
Срок проведения КР		Пробег после КР, км (мес.)				
Срок проведения ТР-3		Пробег после ТР-3, км (мес.)				
Вид ремонта		Дата испытаний				
Атмосферные условия: температура t_a , °C						
давление P_a , кПа		влажность ϕ_a , %				
Коэффициент атмосферных условий $F = \left(\frac{t_a + 273}{300} \right)^{0.50} \left(\frac{100}{P_a} \right)^{0.65}$						
Коэффициент приведения дымности к нормальным условиям $A = (-22,94 + 48,97F - 25,02F^2)$						
Режим испытаний			Результаты испытаний			
позиция КМ	мощность ДГУ, кВт	частота вращения кол. вала, мин^{-1}	$N, \%$	$NO_x, \text{г}/\text{м}^3$	$CO, \text{г}/\text{м}^3$	$CnHm, \text{г}/\text{м}^3$
0	Pe_0	n_1	1	1	1	1
			2	2	2	2
			3	3	3	3
			ср.	ср.	ср.	ср.
3	Pe_3	n_2	1	1	1	1
			2	2	2	2
			3	3	3	3
			ср.	ср.	ср.	ср.
5	Pe_5	n_3	1	1	1	1
			2	2	2	2
			3	3	3	3
			ср.	ср.	ср.	ср.
7	Pe_7	n_5	1	1	1	1
			2	2	2	2
			3	3	3	3
			ср.	ср.	ср.	ср.
9	Pe_9	n_7	1	1	1	1
			2	2	2	2
			3	3	3	3
			ср.	ср.	ср.	ср.

Очевидно, что скорее всего эксплуатируемые локомотивы, возраст которых более 20 лет, не настолько чисты с экологической точки зрения, а просто установленные в методиках [1, 2] допустимые значения недостаточно объективны или определены без учета изменения технического состояния локомотива.

Наличие оксида углерода и дымность продуктов сгорания являются критериями некачественного сгорания топлива. Известно, что при полном сгорании топлива в цилиндре дизеля количество CO в отработавших газах равно нулю, а величина дымности в этом случае не может быть измерена существующими конструкциями дымометров.

В общем случае качество исходной информации может характеризоваться зависимостями, представленными на рисунке 2.

Максимальное отклонение измеренных значений CO для анализируемой группы тепловозов от среднего значения составляет $\pm 3,02\%$, максимальное отклонение $NO_x - \pm 14\%$.

Подвижной состав железных дорог

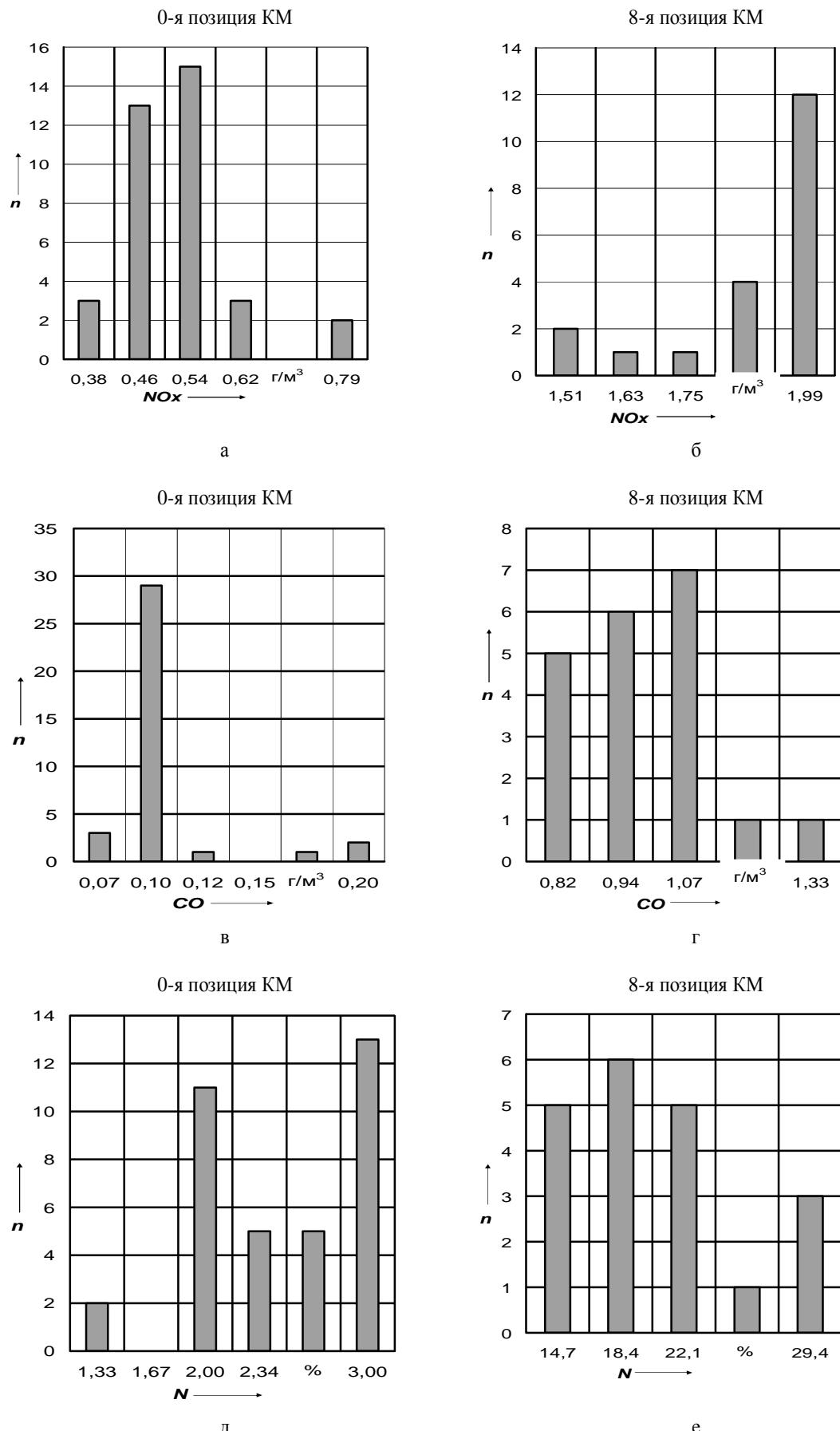


Рисунок 1 – Распределение вредных выбросов в отработавших газах дизеля K6S310DR по позициям контроллера машиниста тепловоза ЧМЭ 3

Подвижной состав железных дорог

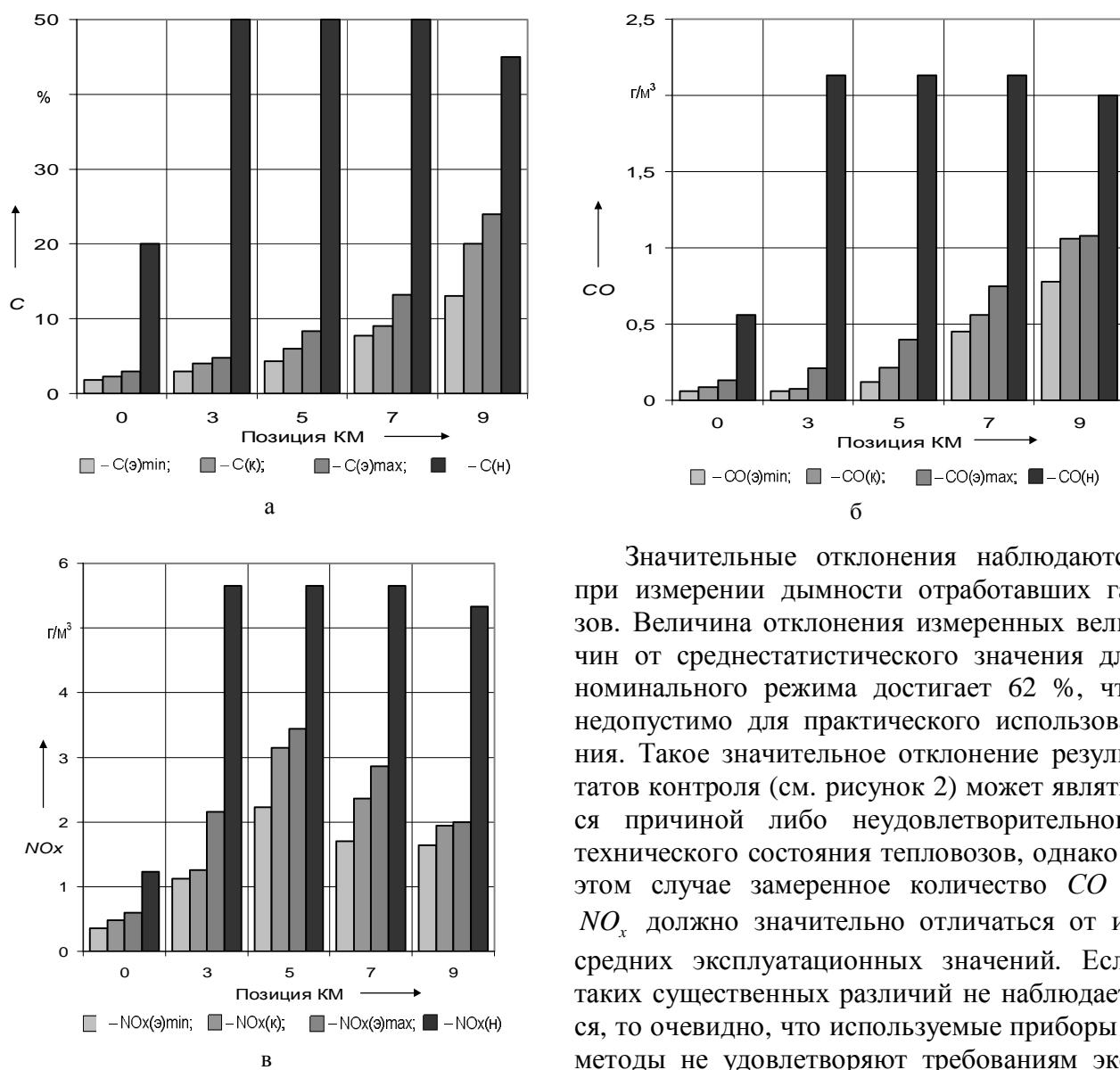


Рисунок 2 – Соотношение количества вредных выбросов в отработавших газах дизельных двигателей с нормативными и среднексплуатационными значениями

место) содержания контролируемых элементов в продуктах сгорания к пунктам экологического контроля (ПЭКам) приведена величина допустимых норм выбросов контролируемых элементов, по превышению которых (или по непревышению) можно судить о техническом состоянии локомотива. Несомненно, что получить достоверные результаты о техническом состоянии тепловоза при экологических испытаниях можно при соблюдении следующих обязательных условий:

- известен элементарный состав топлива ($C + H + S + O = 1$);
- известна величина удельного расхода топлива (be , кг/(кВт·ч)) для заданного режима испытаний (Ne , кВт; n , мин⁻¹);
- известны или поддаются определению по результатам испытаний коэффициенты избытка воздуха для сгорания топлива (α) и наполнения цилиндра свежим зарядом (η_v) по контролируемым режимам.

Значительные отклонения наблюдаются при измерении дымности отработавших газов. Величина отклонения измеренных величин от среднестатистического значения для номинального режима достигает 62 %, что недопустимо для практического использования. Такое значительное отклонение результатов контроля (см. рисунок 2) может являться причиной либо неудовлетворительного технического состояния тепловозов, однако в этом случае замеренное количество CO и NO_x должно значительно отличаться от их средних эксплуатационных значений. Если таких существенных различий не наблюдается, то очевидно, что используемые приборы и методы не удовлетворяют требованиям эксплуатации.

Основной целью экологических испытаний следует считать установление качества протекания рабочего процесса в цилиндре дизеля, причин повышенного (если это имеет

Подвижной состав железных дорог

Тогда, используя основные положения теории двигателей внутреннего сгорания, можно определить следующие характеристики рабочего цикла: теоретически необходимое количество воздуха для сгорания единицы топлива, кмоль/кг, L_o ; характеристику топлива, b ; часовой расход топлива на режиме испытаний, кг/ч, B_q ; коэффициент, характеризующий отношение количества водорода и оксида углерода в продуктах неполного сгорания топлива (если оно имеет место), K ; общее количество воздуха для сгорания топлива, M_B .

Предполагая, что топливо в дизеле сгорает полностью (что естественно не так), состав продуктов сгорания для режима испытаний можно определить по выражениям: $M_{CO_2} = 3,65B_qC$; $M_{H_2O} = 9,01B_qH$; $M_{SO_2} = 1,99B_qS$; $M_{O_2} = 3,36(\alpha - 1)(0,79 + b)B_q$; $M_{N_2} = 22,13\alpha L_o B_q$.

Тогда плотность продуктов сгорания ($\text{кг}/\text{м}^3$) и их массовое количество можно вычислить по формулам:

$$\rho_{\text{пр.ср}} = \frac{1,98M_{CO_2}}{M_{\text{пр.ср}}} + \frac{2,93M_{SO_2}}{M_{\text{пр.ср}}} + \frac{0,60M_{H_2O}}{M_{\text{пр.ср}}} + \frac{1,43M_{O_2}}{M_{\text{пр.ср}}} + \frac{1,25M_{N_2}}{M_{\text{пр.ср}}}; \quad (1)$$

$$M_{\text{пр.ср}}^{(\text{мас})} = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{SO_2} + M_{O_2} + M_{N_2}. \quad (2)$$

Так как топливо в цилиндре двигателя сгорает неполностью и полнота его сгорания оценивается в основном по содержанию оксидов углерода в отработавших газах, уравнения (1), (2) могут характеризовать максимально возможное количество парниковых газов (CO_2 , H_2O) в продуктах сгорания. В общем случае в составе отработавших газов дизелей кроме названных парниковых газов могут присутствовать озон, метан, метилен, метил, формил и т. д., однако их содержание по сравнению с количеством CO_2 и H_2O незначительно.

Для выбранного режима испытаний (мощность и частота вращения коленчатого вала дизеля, удельный расход топлива) по результатам экологического контроля, т. е. по содержанию оксида углерода $m_{CO}^{(\text{экс})}$, оксидов азота $m_{NO_x}^{(\text{экс})}$, углеводородов ($m_{C_nH_m}^{(\text{экс})}$) и дымности отработавших газов ($N^{(\text{экс})}$), необходимо следующее.

1. Определить объемный состав продуктов сгорания ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$$M_{\text{пр.ср}}^{(\text{об})} = \frac{M_{\text{пр.ср}}^{(\text{мас})}}{\rho_{\text{пр.ср}}} \quad (3)$$

и, используя коэффициент приведения, рассчитать количество оксида и диоксида азота в отработавших газах, $\text{г}/\text{м}^3$:

$$\begin{cases} m_{NO}^{(\text{экс})} = \frac{m_{NO_x}^{(\text{экс})}}{2,533}; \\ m_{NO_2}^{(\text{экс})} = m_{NO_x}^{(\text{экс})} - \frac{m_{NO_x}^{(\text{экс})}}{2,533}. \end{cases} \quad (4)$$

2. Установить массовый состав ($\text{г}/\text{ч}$) вредных выбросов в отработавших газах: $M_{CO}^{(\text{экс})} = M_{\text{пр.ср}}^{(\text{об})} m_{CO}^{(\text{экс})}$; $M_{SO_2}^{(\text{экс})} = M_{\text{пр.ср}}^{(\text{об})} m_{SO_2}^{(\text{экс})}$; $M_{NO_2}^{(\text{экс})} = M_{\text{пр.ср}}^{(\text{об})} m_{NO_2}^{(\text{экс})}$; $M_{NO}^{(\text{экс})} = M_{\text{пр.ср}}^{(\text{об})} m_{NO}^{(\text{экс})}$.

3. С учетом замеренного значения дымности отработавших газов рассчитать количество углерода (сажи) в продуктах сгорания, используя эмпирическое выражение

$$M_C^{(\text{экс})} = M_{\text{пр.ср}}^{(\text{об})} \frac{10^{-3} N^{(\text{экс})}}{-2,1N^{(\text{экс})} + 259,367}. \quad (5)$$

4. Количество двуокиси углерода в продуктах сгорания топлива вычисляется по выражению:

Подвижной состав железных дорог

$$M_{CO_2}^{(\text{экс})} = 0,083 \cdot 44,011(M_C - 0,4288M_{CO}^{(\text{экс})} - M_C^{(\text{экс})}). \quad (6)$$

5. На основании выполненных расчетов полнота сгорания топлива в цилиндрах двигателя определится так:

$$f_C = 1 - \frac{M_{CO_2}^{(\text{экс})}}{M_{CO_2}}, \quad (7)$$

где M_{CO_2} – количество двуокиси углерода в отработавших газах при условии полного сгорания топлива.

По доле несгоревшего топлива на каждой позиции контроллера машиниста корректируется количество теплоты, полезно использованной в рабочем цикле двигателя, и количество несгоревших составляющих топлива: углерода, серы, азота и др.

Результаты расчета по приведенному выше алгоритму представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты экологических испытаний тепловоза ЧМЭ 3

Наименование параметра	Значение параметра для позиции контроллера машиниста		
	0-я	5-я	9-я
1	2	3	4
Номинальная мощность дизеля, кВт		880	
Номинальный расход топлива, кг/(кВт·ч)		0,220	
Мощность дизеля, кВт	18	260	880
Результаты экологического контроля			
Количество CO ВВ, г/м ³	0,094	0,205	0,885
Количество NOx ВВ, г/м ³	0,414	3,588	1,871
Количество SO_2 ВВ, г/м ³	0	0	0
Дымность продуктов сгорания N , %	3	6	18
Параметры теоретического цикла			
Всего топлива, кг/ч	6,052	70,324	187,615
Всего воздуха, кг/ч	4846	4998	7875
Всего рабочего тела, кг/ч	4852	5068	8063
Коэффициент избытка воздуха, α	55,917	4,963	2,931
Количество продуктов полного сгорания			
Всего продуктов сгорания, кг/ч	5047	5231	8274
Плотность продуктов сгорания, кг/м ³	1,298	1,307	1,314
Объем продуктов сгорания, м ³ /ч	3888	4001	6295
Количество диоксида углерода CO_2 , кг/ч	18,682	217,070	579,112
Количество диоксида серы SO_2 , кг/ч	0,073	0,843	2,250
Количество водяных паров H_2O , кг/ч	7,415	86,153	229,844
Количество кислорода O_2 , кг/ч	1303	1093	1421
Количество азота N_2 , кг/ч	3718	3834	6042
Параметры действительного цикла			
Удельный расход топлива, кг/(кВт·ч)	0,344	0,270	0,213
Часовой расход топлива, кг/ч	6	70	188
Количество выделенного тепла, кДж/кг	40909	42276	41819
Количество оксида углерода CO , кг/ч	0,365	0,820	5,571
Количество оксида азота NO , кг/ч	0,635	5,668	4,650
Количество диоксида азота NO_2 , кг/ч	0,974	8,689	7,128

Подвижной состав железных дорог

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
Количество диоксида серы SO_2 , кг/ч	0, (0)	0, (0)	0, (0)
Количество водяных паров H_2O , кг/ч	6,050	83,090	209,020
Количество водорода H_2 , кг/ч	0,151	0,340	2,311
Количество азота N_2 , кг/ч	3256	3468	5864
Дымность продуктов сгорания, %	3	6	18
Дымность продуктов сгорания, г/ m^3	0,012	0,024	0,081
Дымность продуктов сгорания, кг/ч	0,046	0,097	0,511
Доля несгоревшего топлива, %	3,965	0,755	1,829
Количество сажи (с учетом f_c), кг/ч	0,033	0,006	0,015
Количество сажи (с учетом дымности), кг/ч	0,046	0,097	0,511
Всего продуктов сгорания, $m^3/ч$	3281	3773	6653

Список литературы

1. ГОСТ Р 50953-96. Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов магистральных и маневровых тепловозов. Нормы и методы определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 20 с.
2. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания [Текст]: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. / А. Э. Симсон, А. З. Хомич и др. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.

УДК 621.914.7

Ф. В. Чегодаев

УСТАНОВКА ДЛЯ РЕМОНТА КОЛЛЕКТОРОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассматриваются пути построения станка для ремонта коллекторов тяговых двигателей. Отмечается, что существующие способы реализации данной задачи не обеспечивают достаточной точности и технологичности процесса ремонта. Предлагается способ построения установки для ремонта коллекторов тяговых двигателей на основе замкнутой системы автоматического управления с вихревоковым датчиком, имеющим статическую характеристику в виде нечетной функции, а также реализация безлюфтового привода поворота якоря на основе фрикционной передачи.

Объектами исследования являются технология и оборудование для ремонта коллектора тягового электродвигателя локомотива. Одним из направлений работы является обоснование вариантов совершенствования станка для продорожки коллектора. Полученные результаты могут быть использованы при модернизации существующего или изготовлении нового станка.

В тяговом электродвигателе коллектор является одним из важнейших и наиболее сложных узлов по количеству деталей, технологии изготовления и ремонта. Трудоемкость его обслуживания составляет основную долю затрат на содержание двигателя в целом.

При эксплуатации тягового электродвигателя в результате действия сил трения и высокой плотности тока между щетками и коллектором на поверхности появляется износ, приводящий к нарушению надежного электрического контакта. Устраняют износ токарной обработкой с последующими шлифованием и накаткой. После токарной обработки происходит изменение глубины и геометрии паза между коллекторными пластинами, а также остаются заусенцы на краях пластин, что приводит к снижению электроизоляционных свойств коллектора. Загрязнение межламельного пространства и уменьшение глубины паза после токар-

Подвижной состав железных дорог

ной обработки может служить причиной возникновения кругового огня по коллектору. Поэтому изоляция должна быть тщательно удалена по всей ширине межламельного промежутка на глубину 1,4 – 6,0 мм.

Получение заданных размеров и формы паза осуществляется фрезерованием. В настоящее время поднастройку положения фрезы относительно межламельного пространства обычно производят вручную, что делает процесс обработки достаточно трудоемким. Зарубежные станки с числовым программным управлением отличаются высокой стоимостью, которая на отечественных предприятиях не окупается в условиях деповского ремонта из-за небольшой программы ремонта коллекторов. Имеются отечественные разработки на уровне изобретений [1,2]. Однако практического воплощения на уровне серийного производства они пока не получили. Применение пневмоприводов, управляющих работой механических фиксаторов коллектора, и расположение устройства корректировки положения фрезы в шпинделе [1] усложняют кинематическую цепь всего станка и снижают его надежность. Применение пневмопривода со свойством упругости в сочетании с существенным моментом инерции якоря приводит к тому, что в системе появляется колебательное звено, а это вызывает значительные динамические нагрузки в моменты фиксации коллектора и повреждение его поверхности. Применение делительных механизмов для позиционирования якоря в сочетании с оптическими датчиками положения [2] также не обеспечит надежности работы установки. Делительное устройство усложняет конструкцию, а оптические датчики, расположенные непосредственно в зоне фрезерования, не обеспечивают надежной работы установки из-за наличия пыли.

Целью настоящего исследования является поиск путей усовершенствования конструкции оборудования и создание недорогой автоматической системы управления процессом, которая должна обеспечивать

- точное позиционирование фрезы относительно дорожки;
- плавный подвод фрезы к соседней дорожке и плавный поворот якоря;
- обработку любых типоразмеров якорей, в том числе содержащих несколько коллекторов.

Датчик положения. Плавное перемещение при позиционировании может обеспечить замкнутая система автоматического регулирования. Одним из основных элементов, определяющих способ ее построения, является датчик перемещения коллекторной пластины, предназначенный для получения сигнала, пропорционального смещению межламельного промежутка относительно плоскости фрезы.

Оптические датчики отличаются большим разнообразием и массовостью применения. Однако чувствительность к загрязнению, подверженность влиянию постороннего светового фона делают их применение в данном случае проблематичным. Близко расположенный источник мicanитовой пыли может привести к нарушению работы оптического датчика и к сбою в работе всей системы, поэтому более предпочтительным в данном случае является магнитный датчик.

Главной особенностью магнитных датчиков, как и оптических, является быстродействие и возможность обнаружения и измерения бесконтактным способом. В отличие от оптических этот вид датчиков не чувствителен к загрязнению. При построении магнитных датчиков используются также различные физические эффекты. Широко применяются датчики Холла магниторезистивные и ряд других. Для обнаружения неоднородностей в немагнитных материалах наиболее подходящими являются вихревоковые датчики. Входные измерительные цепи обычно строятся по дифференциальной схеме [5]. Пример построения такого датчика приведен на рисунке 1.

Подвижной состав железных дорог

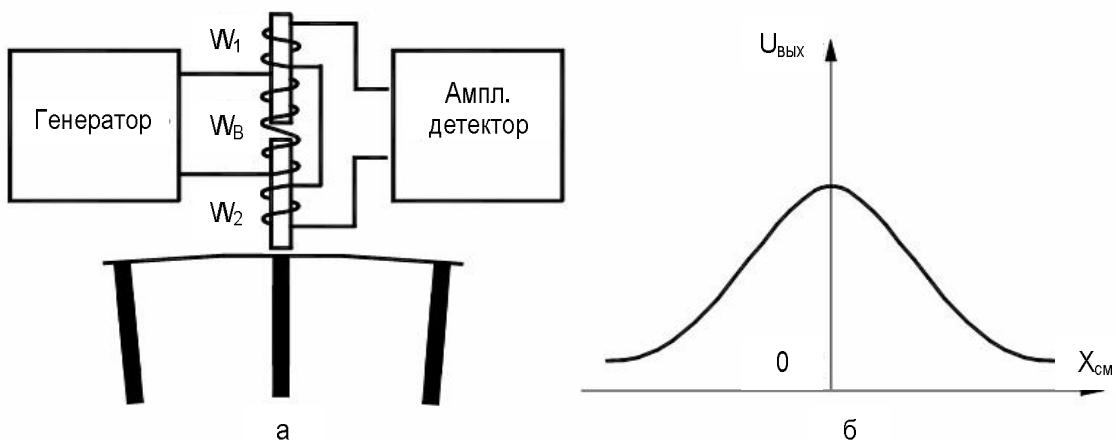


Рисунок 1 – Схема вихретокового датчика с четной статической характеристикой

Вихретоковый датчик состоит из двух ферритовых стержней, расположенных друг над другом и разделенных воздушным зазором. Обмотка возбуждения охватывает оба сердечника и питается от внешнего генератора, а выходные, включенные последовательно-встречно, расположены на каждом из сердечников.

Датчик настраивается таким образом, чтобы при его расположении над серединой коллекторной пластины сигнал имел экстремум, например, был минимальным. Это достигается перемещением обмотки возбуждения вдоль сердечников. При этом достигается равенство ЭДС выходных обмоток и их компенсация. При приближении датчика к межламельному промежутку влияние вихревых токов на нижний стержень уменьшается, симметрия ЭДС нарушается и выходной сигнал увеличивается. Это позволяет определить положение дорожки относительно фрезы.

Особенность системы позиционирования на основе такого датчика заключается в том, что в общем случае она является экстремальной. Это связано с симметрией физических свойств коллекторных пластин относительно межламельного промежутка, вследствие чего статическая характеристика как вихретокового датчика, так и оптического является четной функцией. Теория построения и анализа экстремальных систем является одним из наиболее сложных разделов теории автоматического управления. Задача не имеет однозначного решения, и способ построения системы выбирается исходя из конкретных условий ее работы, требований к быстродействию, точности, динамических свойств датчика и т. д. [4].

Для обеспечения возможности применения обычной замкнутой системы, работающей по отклонению, датчик должен иметь нечетную статическую характеристику, как показано на рисунке 2.

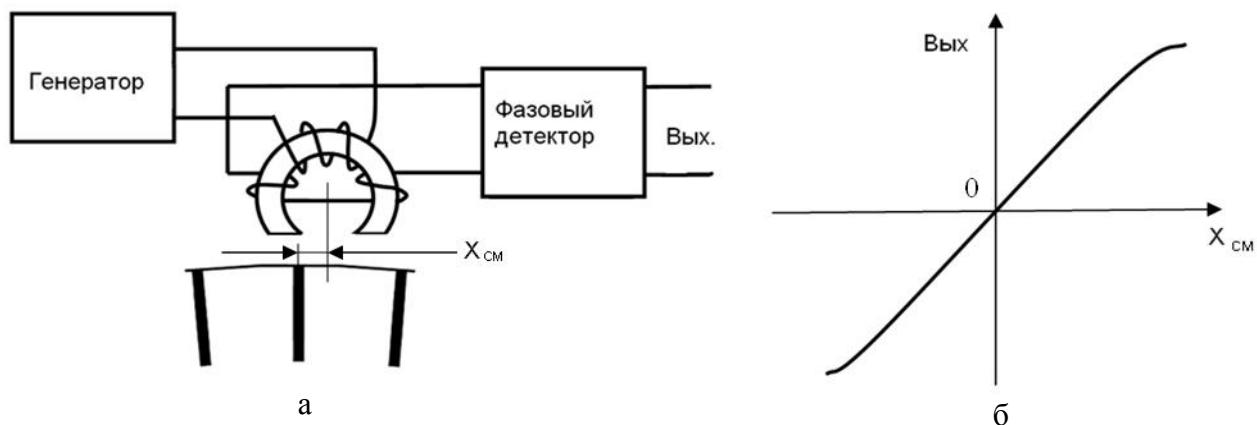


Рисунок 2 – Схема вихретокового датчика с нечетной статической характеристикой

Подвижной состав железных дорог

Вихретоковый датчик может быть выполнен на основе подковообразного магнитопровода. Обмотка возбуждения питается от высокочастотного генератора. Выходная обмотка состоит из двух встречных включенных секций. В зависимости от положения магнитопровода по отношению к межламельному промежутку меняется знак фазы выходного переменного сигнала. Фазовый детектор преобразует выходной переменный сигнал в информационный сигнал, который в зависимости от способа реализации системы может быть постоянным напряжением, широтно-модулированными импульсами, цифровым кодом и т. д. – в зависимости от способа реализации устройства сравнения замкнутой системы автоматического управления.

Кинематическая цепь и система управления. Основной проблемой при реализации данной системы являются исключительно высокие требования к точности позиционирования. Легко подсчитать, что при диаметре коллектора 660 мм и заданной точности положения фрезы относительно дорожки 0,1 мм угловая погрешность поворота якоря не должна превышать одной угловой минуты. Поэтому кинематическая цепь, расположенная между валом исполнительного двигателя системы управления и валом якоря, должна быть выполнена по очень высокому классу точности. Однако даже абсолютная точность передачи угла не решает всех проблем из-за динамических свойств объекта. Например, масса якоря двигателя ТЛ-2К1 составляет 1800 кг, поэтому нельзя не учитывать такие параметры кинематической цепи, как упругость, деформация, люфт, т. е. нельзя рассматривать только собственно систему как таковую. Якорь, редуктор, промежуточная передача и система управления являются элементами единой динамической системы, механическая модель которой приведена на рисунке 3.

В общем случае кинематическая цепь характеризуется такими параметрами: J_d – момент инерции нагрузки; K_y – коэффициент упругости механической передачи; χ – коэффициент потерь на деформацию механической передачи; J_o – момент инерции двигателя.

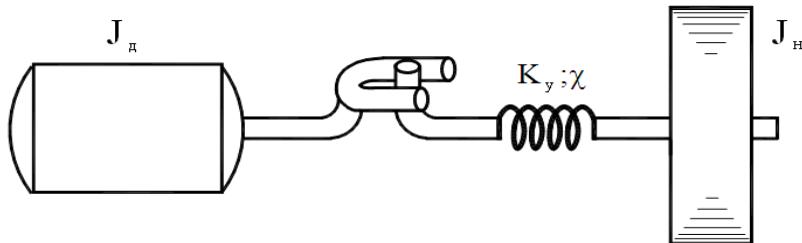


Рисунок 3 – Модель кинематической цепи

Как показано в статье [3], совокупное влияние названных параметров таково, что система может стать структурно неустойчивой. Этот результат неизбежен в случае, если привод поворота якоря воздействует на вал якоря. В работе [3] рассмотрены варианты реализации привода поворота якоря с помощью постоянных магнитов. Однако, как показали проведенные экспериментальные исследования, такой путь решения проблемы конструктивно достаточно сложен из-за больших габаритов постоянных магнитов. Наблюдались явления пробуксовывания магнитов при их недостаточной мощности.

Лучшие результаты удалось получить с помощью фрикционной передачи. Упрощенная функциональная схема установки приведена на рисунке 4.

Приводной ролик 2 располагается под якорем на шарнире 1 и прижимается снизу мощной пружиной к поверхности его барабана. Поверхность ролика покрыта жесткой резиной и обеспечивает надежный механический контакт с поверхностью якоря 3. Все механизмы расположены на каретке 8. Механизмы управления подачами 9 обеспечивают возвратно-поступательное движение шпиндельного узла, установленного на шарнире 11, а также подъем фрезы при обратном ходе. Регулировочный механизм глубины фрезерования 6 меняет положение каретки относительно коллектора с помощью опорного ролика 5, который опирается непосредственно на поверхность коллектора 4. Вихретоковый датчик 7 расположен в непосредственной близости от фрезы, выполнен в герметичном корпусе и своей рабочей по-

Подвижной состав железных дорог

верхностью соприкасается с коллектором. Упругая муфта 10 обеспечивает осевое смещение вала фрезы и выбирает погрешность позиционирования фрезы при работе системы управления. Привод ведущего ролика 12 приводит в движение шестерню, жестко закрепленную на приводном ведущем ролике.

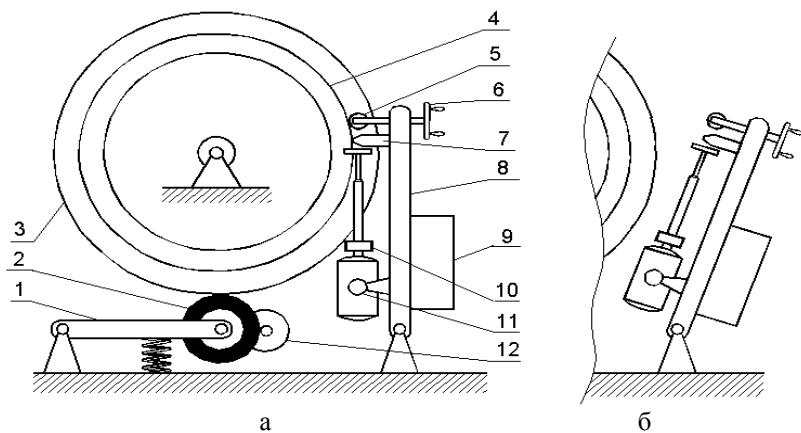


Рисунок 4 – Функциональная схема кинематической цепи с фрикционной передачей:
1 – рычаг; 2 – приводной ведущий ролик; 3 – якорь; 4 – коллектор; 5 – опорный ролик; 6 – регулировочный механизм глубины фрезерования; 7 – датчик положения; 8 – несущая каретка; 9 – механизмы управления подачами; 10 – упругая муфта; 11 – шпиндельный узел с шарниром; 12 – привод ведущего ролика

В рабочем положении каретка, установленная на шарнирном соединении, находится в вертикальном положении (рисунок 4, а), в нерабочем положении она отводится от якоря (рисунок 4, б). Этим обеспечивается удобство установки якоря.

Приведенная схема обеспечивает наиболее короткие и жесткие безлюфтовые кинематические цепи, что облегчает условия работы системы управления. Кроме того, все механизмы могут быть установлены в виде дополнения к штатному оборудованию для ремонта якорей, имеющемуся в каждом депо.

Блок управления может быть реализован на основе микропроцессорной системы, обеспечивающей согласованное действие возвратно-поступательного механизма движения шпинделя и ведущего ролика. Система управления выполнена на основе обычных электромеханических следящих систем с приводами на основе шаговых двигателей. Примерно равносильные результаты дает применение асинхронных двигателей с полым немагнитным ротором. И те и другие обладают высокой надежностью из-за отсутствия подвижных контактов. Пути реализации подобных систем широко известны и освоены современной автоматикой.

Испытания макетного образца установки в локомотивном депо станции Московка показали высокую надежность работы датчика на различных типоразмерах якорей и системы управления. Плавная работа всех механизмов под управлением непрерывной системы максимально уменьшает динамические нагрузки, что обеспечивает долговечность кинематической части установки.

Список литературы

1. Патент России № 2116871. Автоматический фрезерный станок для продорожки коллекторов электрических машин [Текст] / В. Н. Губин, А. Г. Ураев, А. Н. Смоляков; Опубл. 20.10.1997.
2. Патент России № 2291763. Автоматизированный станок для продораживания якорных коллекторов электрических машин [Текст] / В. Т. Данковцев, Е. А. Губарь, В. О. Мельк, Л. П. Устюгов; Опубл. 20.01.2007.

3. Смольянинов, В. С. Пути построения системы управления поворотом якоря тягового двигателя при механической обработке межламельного промежутка коллектора [Текст] / В. С. Смольянинов, Ф. В. Чегодаев, С. А. Когут // Исследование процессов взаимодействия объектов железнодорожного транспорта с окружающей средой: Сб. статей / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2003.

4. Расстригин, Л. А. Системы экстремального управления [Текст] / Л. А. Расстригин. – М.: Наука, 1974. – 630 с.

5. Учанин, В. Н. Вихревые мультидифференциальные преобразователи и их применение [Текст] / В. Н. Учанин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006. – № 3. – С. 34 – 41.

УДК 621.18(075.8)

В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов, М. В. Кульков

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКЕ КОТЛОАГРЕГАТА ПРИ УСЛОВИИ СБРОСА В НЕЕ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье предлагается методика расчета теплообмена в топке котла в условиях сброса в нее отработавших газов газотурбинного двигателя. В результате дожигания таких газов в топке котла повышается экономичность всей комбинированной установки, производящей как тепловую, так и электрическую энергию.

Одним из наиболее эффективных способов увеличения мощности и экономичности теплоэнергетических установок является применение в них парогазового цикла путем включения газотурбинного двигателя (ГТД) в цикл работы парогенератора [1 – 4].

При реконструкции действующей котельной установки и превращении ее в парогазовую установку (ПГУ) сбросного типа необходимы изменения в тепловых схемах как ГТД, так и котельной установки, поскольку используемый в обычных котельных установках подогрев воздуха перед подачей в топку котла за счет теплоты уходящих из топки газов не может быть реализован, так как в топку подается меньше подогретого воздуха, что приводит к повышению температуры газов, уходящих из котла. Для снижения температуры уходящих газов часть регенеративных подогревателей питательной воды переключают на параллельно включаемые газоводяные подогреватели, в которых подогрев питательной воды осуществляется за счет теплоты уходящих газов. Газоводяные подогреватели питательной воды являются новыми элементами в реконструируемой ПГУ, что усложняет схему и увеличивает стоимость установки [1 – 5].

Из-за общего увеличения количества дымовых газов за котлом приблизительно на 40 % при переходе к парогазовому циклу требуется реконструкция дутьевой установки и увеличение производительности дымососов. Изменяются условия работы дымовой трубы, поэтому необходимо пересчитать эпюры статического давления газов в трубе для обеспечения ее надежной эксплуатации.

При проектировании тепловых схем сбросных ПГУ для энергоблоков необходимо дифференцировать виды энергетического топлива и улучшить специфику работы ПГУ. В пылеугольных ПГУ сбросного типа уходящие газы ГТД могут поступать в систему пылеприготовления; в горелки энергетического парового котла вместе с угольной пылью; в сбросные сопла топки энергетического парового котла; в рассечку поверхности нагрева конвективной шахты парового котла в соответствии с их температурой; в дымовую трубу ГТД при ее автономной работе.

Режим совместной работы парового котла и ГТД (режим ПГУ) следует рассматривать как основной. При этом необходимо учитывать возможность работы в переменных режимах,

Транспортная энергетика

а основное внимание уделять возможности совместного функционирования паро- и газотурбинных частей установки.

В отдельных случаях, когда в компоновке парового котла сохраняется воздухоподогреватель и дутьевой вентилятор, последний можно использовать при пуске ГТД в качестве стартового устройства. Когда ГТД остановлен, дутьевой вентилятор и воздухоподогреватель используются при автономной работе паросилового блока [2 – 5].

С целью дальнейшего расширения диапазона регулирования тепловых и электрических нагрузок, а также увеличения эксплуатационного ресурса ГТД возможна установка вместо одного двух ГТД, равных по суммарной общей потребной мощности. Это позволяет при резком снижении потребности в тепловой или электрической энергии обеспечивать не только качественное, но и количественное регулирование, а также поддерживать электрическую нагрузку ГТД в наиболее оптимальном расчетном режиме за счет отключения одного из них, существенно продлить эксплуатационный ресурс установленных ГТД за счет периодических отключений [2, 5].

При большой доле газотурбинной мощности (по отношению к мощности основного энергоблока) существенно вырастает объем уходящих газов. Это влечет за собой увеличение скорости газов и абразивный износ поверхностей нагрева котла, а также уменьшение температуры в зоне активного горения топки, что может привести к снижению эффективности и устойчивости горения угольной пыли. Эту проблему решают, выбирая определенные типоразмеры ГТД, при этом оптимизируют соотношение мощности разрабатываемого ГТД.

Исследование горения угольной пыли каменных и бурых углей в среде уходящих газов ГТД показало возможности и вместе с тем сложность решения этой задачи. Как показали предварительные исследования Научно-производственного объединения по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова для котлов типа ТП (ТП-109, ТПЕ-403А и ТПЕ-216), независимо от высокой реактивности каменных углей марок Г и Д резкое ухудшение топочного процесса наступает при снижении объемной концентрации O_2 в окислителе до 14,5 %, что приводит к увеличению механического недожога на выходе из топочной камеры до 13 %. При сжигании бурого угля влияние объемной концентрации кислорода в окислителе менее выражено и потухание факела наступает при концентрации O_2 менее 13 %.

Использование каменных углей в пылеугольных ПГУ сбросного типа, для которых характерна невысокая реактивность (выход летучих – менее 30 %, угли марок СС, экибастузский, нерюнгрийский и др.), нецелесообразно.

Для надежного горения угля в топочную камеру необходимо подводить дополнительное количество воздуха от дутьевого вентилятора. Его расход может доходить до 30 % суммарного объема выходных газов ПГУ [5].

При расчете теплообмена в камерной топке среднеинтегральным методом [6] рассматриваются постоянные средние значения коэффициента тепловой эффективности экранов Ψ_{cp} и коэффициента теплового излучения топки ϵ_ϕ .

Тогда количество теплоты $Q_{\text{л}}$, переданное излучением от факела с температурой T_ϕ на стены площадью F_{cr} , с температурой T_3 наружного слоя загрязнений и средним коэффициентом ψ_{cp} тепловой эффективности экранов, по закону Стефана-Больцмана будет рассчитываться по формуле:

$$Q_{\text{л}} = \frac{\epsilon_\phi \sigma_o \Psi_{cp} F_{cr} (T_\phi^4 - T_3^4)}{B}, \quad (1)$$

где σ_o – постоянная излучения абсолютно черного тела, Вт/(м²·К⁴);

B – расход топлива для котла, кг/с.

Расход топлива для котла с учетом потерь тепла, вносимого ГТД, можно определить по формуле:

Транспортная энергетика

$$B = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_p^{\text{p}} \eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{ка}}$ – полезное тепловосприятие в котле, кВт;

$\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}$ – КПД парового котла;

Q_p^{p} – располагаемая теплота сгорания топлива в котле, кДж/кг.

Располагаемое тепло (приходная часть теплового баланса) в общем случае примет вид, кДж/кг:

$$Q_p^{\text{p}} = Q_n^{\text{p}} + Q_{\text{ГТД}} + Q_{\text{в.вн}} + Q_{\text{физ.т}} + Q_{\phi} - Q_k, \quad (3)$$

где Q_n^{p} – низшая теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг (или Q_n^c – для сухого газообразного топлива, кДж/м³);

$Q_{\text{в.вн}}$ – теплота, внесенная с воздухом, если он подогревается вне котлоагрегата, кДж/кг;

$Q_{\text{физ.т}}$ – физическое тепло топлива, кДж/кг;

Q_{ϕ} – теплота, внесенная с дутьевым или транспортирующим топливо паром, кДж/кг;

Q_k – теплота, затраченная на разложение карбонатов, кДж/кг.

Часть располагаемого тепла, подведенного с газами ГТД, определяется как разность между всем теплом газов, внесенных в топку котла, и теплом воздуха, подведенным к ГТД, кВт, можно выразить так [1, 3, 4]:

$$Q_{\text{ГТД}} = B_{\text{ГТД}} \left[(1 + \alpha_{\Sigma} V_0) c_p^r t_r - \alpha_{\Sigma} V_0^{\text{вл}} c_p^b t_b \right], \quad (4)$$

где α_{Σ} – общий коэффициент избытка воздуха в ГТД;

c_p^r – средняя теплоемкость газов, кДж/(кг·К);

c_p^b – средняя теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К);

t_r – температура газов ГТД, подводимых в топку котла, °С;

t_b – температура воздуха перед компрессором ГТД, °С;

V_0 – стехиометрическое количество воздуха, м³, для полного сгорания 1 кг твердого или жидкого топлива при $\alpha_r = 1$;

$B_{\text{ГТД}}$ – количество топлива, сжигаемого в камере сгорания ГТД, кг/с.

Обобщенное уравнение полезного тепловыделения в топке при условии сброса газов ГТД имеет вид:

$$Q_t = Q_p^{(p)} \left(\frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} \right) + Q_b + Q_{\text{рец}} - Q_{\text{ГТД}} - Q_{\text{в.вн}}, \quad (5)$$

где q_3, q_4, q_6 – потери теплоты с химическим, механическим недожогом и шлаком, %;

Q_b – теплота, вносимая в топку с воздухом, кДж/кг;

$Q_{\text{рец}}$ – теплота рециркулирующих газов, кДж/кг.

Полезное тепловыделение в топке является основой для определения теоретической (или адиабатической) температуры горения топлива, °С:

$$t_a = t_{\text{теор}} = \frac{Q_r}{\left[(V_{\Sigma}^r c)_r \right]_{t_{\text{теор}}}}, \quad (6)$$

где V_{Σ}^r – удельный объем продуктов сгорания, м³/кг;

Транспортная энергетика

$\left[\left(V_{\Sigma}^r c \right)_r \right]_{t_{\text{теор}}}$ – суммарная теплоемкость газов при искомой температуре $t_{\text{теор}}$, кДж/(кг·К).

Объемное количество продуктов сгорания равно сумме объемов газов V_r , образовавшихся от сгорания топлива в топке [2 – 6], и «чистых» газов ГТД $V_{qr}^{\text{ГТД}}$, находящихся в составе газовоздушной смеси топлива, м³/кг:

$$V_{\Sigma}^r = V_r + \frac{B_{\text{ГТД}}}{B} V_{qr}^{\text{ГТД}}. \quad (7)$$

При сжигании в камере сгорания ГТД газообразного, а в топке котла твердого или жидкого топлива выражение (7) будет иметь вид, м³/кг:

$$V_{\Sigma}^r = V_r + \frac{B_{\text{ГТД}} \rho_r^c}{B} V_{qr}^{\text{ГТД}}, \quad (8)$$

а при обратной ситуации (жидкое топливо в камере сгорания ГТД и газообразное в топке котла) –

$$V_{\Sigma}^r = V_r + \frac{B_{\text{ГТД}}}{B \rho_r^c} V_{qr}^{\text{ГТД}}, \quad (9)$$

где ρ_r^c – плотность сухого газа, кг/м³.

Исходной для расчета теплообмена в топке является безразмерная температура θ_t'' , представляющая собой отношение абсолютной температуры на выходе из топки T_t'' к теоретической температуре горения T_a :

$$\theta_t'' = \frac{T_t''}{T_a}. \quad (10)$$

В топке температура факела T_{ϕ} изменяется по его длине, сечению и зависит от большого числа факторов (вид топлива и его расход, способ сжигания, конструкция экранов, компоновка горелок и т. д.). Обычно при расчете топок принимают эмпирические уравнения, в которых использованы опытные данные. В Нормативном методе расчета теплообмена в однокамерных и полуоткрытых топках применяют эмпирическую зависимость, предложенную А. М. Гурвичем в виде [1, 2, 6]:

$$\theta_t'' = \frac{Bo^{0.6}}{\left(M \varepsilon_t^{0.6} + Bo^{0.6} \right)}. \quad (11)$$

Параметр M учитывает положение максимальных температур (ядра) факела по высоте топки:

$$M = A - Bx, \quad (12)$$

где A и B – коэффициенты, зависящие от вида топлива и конструкции топки [6];

x – уровень максимального тепловыделения по высоте топки:

$$x = \frac{h_r}{h_t}, \quad (13)$$

где h_r – высота расположения горелок, м;

h_t – высота топки, м;

Bo – критерий Больцмана, рассчитывающийся по формуле:

Транспортная энергетика

$$Bo = \frac{\varphi B(Vc)_{cp}}{\sigma_0 \Psi_{cp} F_{ct} T_a^3}, \quad (14)$$

где φ – коэффициент сохранения тепла;

$(Vc)_{cp}$ – средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания в интервале температур $T_a - T''_t$, кДж/(кг·К);

F_{ct} – площадь поверхности стен топки, м²;

ε_t – приведенная степень излучения топки,

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon_\phi}{\varepsilon_\phi + (1 - \varepsilon_\phi) \Psi_{cp}}. \quad (15)$$

Таким образом, расчетное значение температуры газов на выходе из топки можно определить по формуле, °С:

$$t''_t = \frac{T_t}{M \left(\frac{5,67 \cdot 10^{-11} \Psi_{cp} F_{ct} T_a^3 \varepsilon_t}{\varphi B (Vc)_{cp}} \right)^{0,6} + 1} - 273. \quad (16)$$

Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания

$$(Vc)_{cp} = \frac{Q_t - H''_t}{T_a - T''_t}, \quad (17)$$

где H''_t – энталпия продуктов сгорания в топке, кДж/кг.

Среднеинтегральный метод расчета позволяет получить осредненный тепловой поток, воспринимаемый экранами:

$$\bar{q}_l = \frac{Q_l B}{F_{ct}}. \quad (18)$$

Предложенная методика базируется на Нормативном методе расчета котельных агрегатов.

Список литературы

1. Сидельковский, Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий [Текст] / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юрьев. – М.: Энергия, 1988. – 528 с.
2. Двойнишников, В. А. Конструкция и расчет котлов и котельных установок [Текст] / В. А. Двойнишников, Л. В. Деев, М. А. Изюмов. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
3. Ведрученко, В. Р. Уточненная методика расчета процесса сгорания в топке парового котла по схеме комбинированной парогазовой установки со сбросом газов в топку [Текст] / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов, А. В. Казимиров // Промышленная энергетика. – 2005. – № 6. – С. 31 – 35.
4. Косяк, П. А. Особенности расчета горения в парогенераторных комбинированных энергетических установках [Текст] / А. П. Косяк // Теплоэнергетика и хладотехника: Труды / Николаевский кораблестроительный ин-т. – Николаев, 1976. – Вып. 12. – С. 32 – 36.
5. Соловьев, Ю. П. Тепловые расчеты промышленных паротурбинных электростанций [Текст] / Ю. П. Соловьев. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 158 с.
6. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) [Текст] / Под ред. Н. В. Кузнецова, В. В. Митор и др. – М.: Энергия, 1973. – 285 с.

УДК 621.311.22:621.182

С. В. Глухов, В. М. Лебедев

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрен существующий уровень потребления тепловой энергии в жилых и общественных зданиях. Предложен метод определения степени эффективности внедрения автоматизированных тепловых пунктов в системах централизованного теплоснабжения крупных городов РФ в зависимости от температурных графиков источников теплоснабжения и климатических условий.

По данным исследований, проведенных Центром по эффективному использованию энергии [1], на централизованное теплоснабжение жилых и общественных зданий приходится 3380 млн ГДж/год, что составляет 40,1 % от суммарного годового потребления тепловой энергии в РФ, с учетом потребления на нужды теплоснабжения административных корпусов и цехов промышленных предприятий на централизованное теплоснабжение приходится около 3790 млн ГДж/год (45 % от суммарного потребления тепловой энергии в РФ).

При централизованном теплоснабжении жилых зданий в большинстве случаев на нужды отопления расходуется 60 – 80 % тепловой энергии, остальная тепловая энергия расходуется для обеспечения горячего водоснабжения (ГВС). В общественных зданиях в расходный баланс тепловой энергии добавляется нагрузка на вентиляцию, однако по своей нагрузке она в среднем не превышает 30 % от суммарной, а доля ГВС составляет около 5 %. В зданиях производственного теплоснабжения доля отопления также значительна, но в зависимости от типа производства вентиляционная нагрузка может меняться в достаточно широких пределах (до 60 % от суммарной нагрузки).

Проведенные исследования по эффективности работы существующих систем теплоиспользования жилых зданий [2] показали превышение потребления тепловой энергии на нужды отопления над нормативными значениями по Сибирскому федеральному округу (СФО) более 10,3 % (в целом по России – до 19,8 %). А превышение удельного расхода тепловой энергии на нужды ГВС по СФО – около 40 % (в целом по РФ – 12,1 %).

В целом по РФ технический потенциал повышения эффективности использования тепловой энергии в системах теплопотребления зданий оценивается на уровне 1925 млн ГДж/год, причем за счет внедрения автоматического регулирования – 670 млн ГДж/ год, что составляет свыше 16 % от уровня нынешнего потребления [1].

Внедрение систем автоматического регулирования отопительной нагрузки на тепловых пунктах потребителей в РФ началось лишь с принятием в 1996 г. федерального закона № 28-ФЗ «Об энергосбережении». Однако инженерные системы основной массы жилого фонда эксплуатируются с 70-х годов и до настоящего времени не претерпели коренной реконструкции. Согласно нормам проектирования, действовавшим в период массового строительства жилого фонда, присоединение систем отопления к тепловым сетям осуществлялось по элеваторной схеме (рисунок 1) как наименее затратной и не требующей постоянного присутствия эксплуатационного персонала.

Основным недостатком при эксплуатации элеваторных узлов в системах теплоснабжения является постоянный коэффициент смешения теплоносителя. При центральном качественном регулировании по отопительной нагрузке в тепловых сетях, обеспечивающих подачу теплоносителя совместно для систем отопления и ГВС, минимальная температура теплоносителя на выходе от источника теплоснабжения должна поддерживаться на уровне 70 °C по условию поддержания требуемой температуры горячей воды перед водоразборными устройствами.

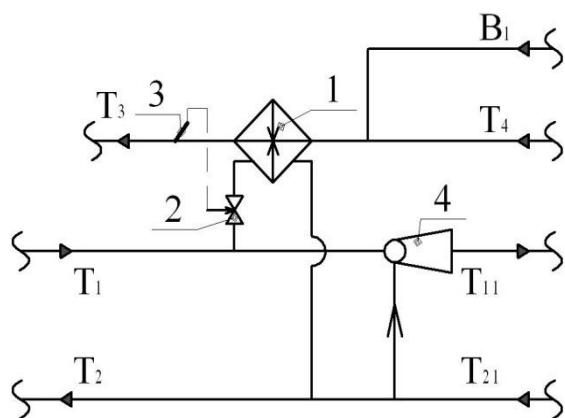


Рисунок 1 – Схема присоединения системы отопления с помощью элеваторного смешения и системы ГВС по закрытой одноступенчатой параллельной схеме:

1 – теплообменник ГВС; 2 – регулятор температуры; 3 – датчик температуры ГВС; 4 – элеватор системы отопления; T_1 и T_2 – подающий и обратный трубопроводы тепловой сети; T_{11} и T_{21} – подающий и обратный трубопроводы системы отопления; T_3 и T_4 – подающий и рециркуляционный трубопроводы ГВС; B_1 – ввод водопроводной воды

График потребления тепловой энергии при расчетной нагрузке системы свыше 50 кВт.

В то же время при определенной температуре наружного воздуха температура теплоносителя согласно расчетным формулам в работе [3] в подающем трубопроводе должна быть ниже 70 °C. Поэтому теплоноситель подается в систему отопления с завышенной температурой и в течение значительного периода времени наблюдается перегрев отапливаемых помещений.

Одним из путей сокращения перегрева помещений является организация местного качественно-количественного регулирования температуры теплоносителя в тепловых пунктах присоединяемых потребителей (рисунок 2). Данный способ регулирования приводит к увеличению точности регулирования температуры теплоносителя перед системой отопления, уменьшению потребления тепловой энергии при повышении условий теплового комфорта в помещении на протяжении всего периода времени эксплуатации отопительных систем.

В настоящее время в нормативной литературе изложена необходимость автоматизации потребления тепловой энергии для целей отопления при расчетной нагрузке системы свыше 50 кВт.

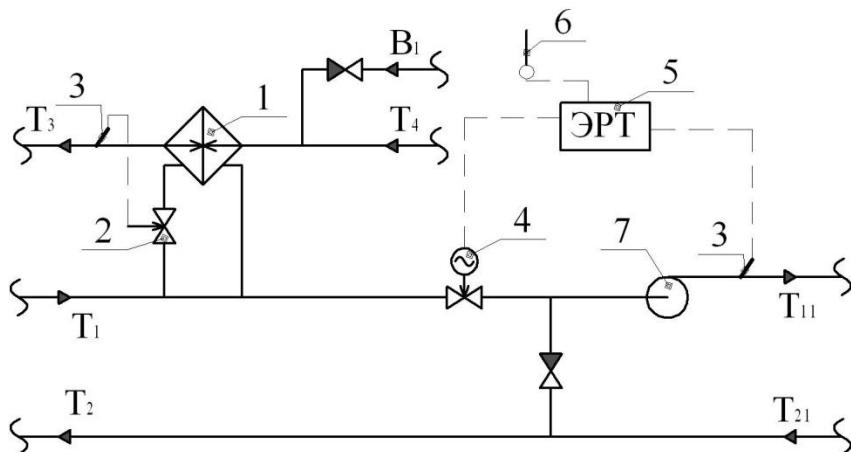


Рисунок 2 – Схема присоединения системы отопления с помощью насосного смешения и системы ГВС по закрытой одноступенчатой схеме: 1 – 3 – см. рисунок 1; 4 – клапан регулирующий с электроприводом; 5 – электронный регулятор температуры; 6 – датчик температуры наружного воздуха; 7 – насос циркуляционно-повысительный

Однако значительная часть существующих систем теплопотребления в настоящее время не отвечает требованиям энергосбережения. Это связано прежде всего со значительной стоимостью оборудования, необходимого для автоматизации систем теплопотребления.

Существующий ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» устанавливает законодательные основы внедрения энергосберегающих мероприятий, в том числе и с помощью государственных дотаций.

Анализ проведенных исследований в области внедрения автоматизированных тепловых пунктов [4, 5] показал, что авторы в своих работах указывают на сокращение потребления

Транспортная энергетика

тепловой энергии на 15 – 30 % при установке необходимого оборудования и оценивают полученный срок окупаемости от одного – полутора лет до трех – четырех лет.

В ряде работ указывается на зависимость степени эффективности внедрения автоматизированных тепловых пунктов (ТП) от продолжительности стояния наружных температур воздуха. Однако целостных исследований по определению степени эффективности внедрения автоматизированных ТП в различных регионах РФ с определением сроков окупаемости в зависимости от местных условий не проводилось.

Задача определения степени эффективности внедрения ТП состоит в нахождении перерасхода тепловой энергии в системах теплоснабжения регионов РФ с различными температурными графиками центрального регулирования по отопительной нагрузке и ранжирования регионов по степени сокращения потребления тепловой энергии за отопительный период на 1 ГДж/ч присоединенной отопительной нагрузки.

Для выполнения поставленной задачи необходимо:

1) проанализировать температурные графики центрального качественного регулирования по отопительной нагрузке для основных населенных пунктов РФ и определить по ним температуру наружного воздуха, соответствующую точкам излома графиков;

2) определить величины перерасхода тепловой энергии при присоединении систем отопления с помощью элеваторов за отопительный сезон;

3) ранжировать населенные пункты РФ по степени сокращения потребляемой энергии за отопительный период при внедрении автоматизированных ТП.

Рассмотрим температурные графики центрального качественного регулирования с расчетной температурой теплоносителя в подающем трубопроводе:

$\tau_{1p} = 95, 105, 115^{\circ}\text{C}$ – широко применяются в системах теплоснабжения от котельных малой и средней мощности;

$\tau_{1p} = 130, 140, 150^{\circ}\text{C}$ – широко применяются в системах теплоснабжения от котельных большой мощности, ТЭЦ общего и промышленного назначения.

В качестве рассматриваемых населенных пунктов были выбраны города РФ с численностью населения более 100 тыс. чел. с наиболее характерными климатическими условиями. Данные о значениях расчетной температуры наружного воздуха приняты по нормам [6].

Температуру наружного воздуха в точке излома температурного графика рассчитываем по уравнению, выраженному в неявном виде, согласно рекомендациям работы [3]:

$$\tau_1 = t_{bp} + \Delta t'_o \cdot \bar{Q}^{0.8} + \bar{Q}(\delta\tau'_o - \frac{\Theta'}{2}), \quad (1)$$

где τ_1 – температура сетевой воды в подающем трубопроводе. В точке излома температурного графика $\tau_1 = 70^{\circ}\text{C}$;

t_{bp} – усредненная расчетная температура внутреннего воздуха. Принимаем согласно требованиям [7] 18°C – в районах с расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления до минус 30°C и 20°C – в районах с расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления ниже минус 30°C ;

$\Delta t'_o = \frac{\tau_{3p} + \tau_{2p}}{2} - t_{bp}$ – температурный напор отопительных приборов в расчетном режиме;

$\delta\tau'_o = \tau_{1p} - \tau_{2p}$ – расчетный перепад температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах;

$\Theta' = \tau_{3p} - \tau_{2p}$ – расчетный перепад температуры теплоносителя в нагревательных приборах потребителей;

$\tau_{1p}, \tau_{2p}, \tau_{3p}$ – расчетная температура теплоносителя в подающем, обратном трубопроводах и после смесительного устройства (элеватора);

\bar{Q} – относительная тепловая нагрузка отопления, определяется по выражению [3]:

$$\bar{Q} = \frac{Q_o}{Q_{op}} = \frac{t_{bp} - t_h}{t_{bp} - t_{hop}}, \quad (2)$$

где t_{hop} – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, принимается для различных населенных пунктов по нормам [6].

Величину перерасхода тепловой энергии за отопительный сезон при присоединении систем отопления с помощью элеваторов найдем аналитически на основе анализа интегрального графика зависимости величины относительной тепловой нагрузки отопления \bar{Q} от продолжительности отопительного периода n , ч, для климатических условий г. Омска (рисунок 3).

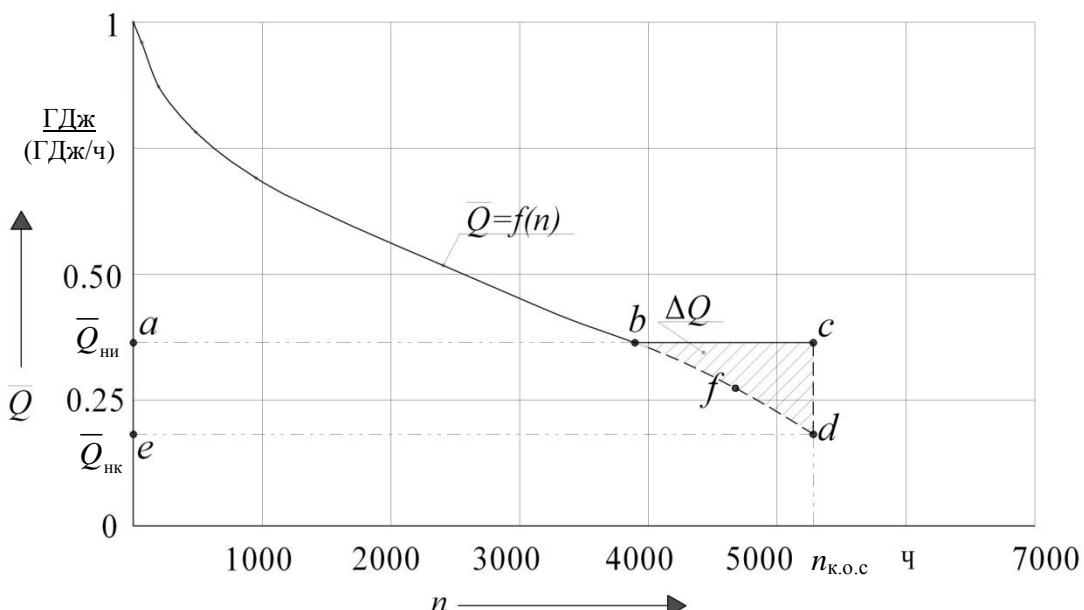


Рисунок 3 – Интегральный график зависимости величины относительной тепловой нагрузки отопления от продолжительности отопительного периода: \bar{Q}_{hi} , \bar{Q}_{nk} – относительная тепловая нагрузка при температуре наружного воздуха в точке излома и при температуре наружного воздуха, соответствующей началу (окончанию) отопительного сезона; n_{koc} – количество часов в отопительном сезоне

В соответствии с рисунком 3 величина удельного перерасхода тепловой энергии ΔQ , ГДж/(ГДж/ч), будет эквивалентна площади заштрихованной фигуры $b-c-d-f-b$, которую можно найти аналитически, воспользовавшись геометрическим смыслом определенного интеграла. Для этого необходимо выбрать функцию, по которой будем проводить интегрирование, а также пределы интегрирования.

Для нахождения функции интегрирования воспользуемся данными о средней продолжительности периода с температурой воздуха различных градаций [6].

Полученные данные с большой точностью описываются полиномом 6-й степени (коэффициент детерминации выше 0,998):

$$n(t_h) = a_0 + a_1 \cdot t_h + a_2 \cdot t_h^2 + a_3 \cdot t_h^3 + a_4 \cdot t_h^4 + a_5 \cdot t_h^5 + a_6 \cdot t_h^6, \quad (3)$$

где t_h – температура наружного воздуха;

$n(t_h)$ – количество часов стояния температуры наружного воздуха, ч;

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ – коэффициенты полинома.

Воспользуемся формулой (2) для нахождения функциональной зависимости между текущей температурой наружного воздуха t_h и относительной тепловой нагрузкой отопления \bar{Q} :

Транспортная энергетика

$$t_u = t_{\text{вр}} - \bar{Q}(t_{\text{вр}} - t_{\text{нор}}). \quad (4)$$

При подстановке уравнения (4) в выражение (3) получаем зависимость продолжительности работы системы отопления n , ч, со значением относительной тепловой нагрузки более текущего значения относительной тепловой нагрузки отопления \bar{Q} :

$$\begin{aligned} n(\bar{Q}) = & a_0 + a_1(t_{\text{вр}} - \bar{Q}(t_{\text{вр}} - t_{\text{нор}})) + a_2((t_{\text{вр}} - \bar{Q}(t_{\text{вр}} - t_{\text{нор}}))^2 + a_3((t_{\text{вр}} - \bar{Q}(t_{\text{вр}} - t_{\text{нор}}))^3 + \\ & + a_4((t_{\text{вр}} - \bar{Q}(t_{\text{вр}} - t_{\text{нор}}))^4 + a_5((t_{\text{вр}} - \bar{Q}(t_{\text{вр}} - t_{\text{нор}}))^5 + a_6((t_{\text{вр}} - \bar{Q}(t_{\text{вр}} - t_{\text{нор}}))^6. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, площадь $a-b-f-d-e-a$ под кривой $n(\bar{Q})$ можно найти с помощью выражения:

$$S_{a-b-f-d-e-a} = \int_{\bar{Q}_{\text{НК}}}^{\bar{Q}_{\text{ни}}} n(\bar{Q}) d\bar{Q}. \quad (6)$$

А искомую площадь $b-c-d-f-b$, соответствующую величине перерасхода тепловой энергии ΔQ , найдем из выражения, ГДж/(ГДж/ч):

$$\Delta Q = S_{b-c-d-f-b} = S_{a-c-d-e-a} - S_{a-b-f-d-e-a}$$

$$\text{или } \Delta Q = \int_{\bar{Q}_{\text{НК}}}^{\bar{Q}_{\text{ни}}} n_{\text{к.о.с.}} d\bar{Q} - \int_{\bar{Q}_{\text{НК}}}^{\bar{Q}_{\text{ни}}} n(\bar{Q}) d\bar{Q} = n_{\text{к.о.с.}} (\bar{Q}_{\text{ни}} - \bar{Q}_{\text{НК}}) - \int_{\bar{Q}_{\text{НК}}}^{\bar{Q}_{\text{ни}}} n(\bar{Q}) d\bar{Q}, \quad (7)$$

После интегрирования получим, ГДж/(ГДж/ч):

$$\begin{aligned} \Delta Q = & n_{\text{к.о.с.}} (\bar{Q}_{\text{ни}} - \bar{Q}_{\text{НК}}) - \left(-\frac{1}{t_{\text{вр}} - t_{\text{нор}}} (a_0(t_{\text{ни}} - t_{\text{НК}}) + \frac{a_1}{2}(t_{\text{ни}}^2 - t_{\text{НК}}^2) + \right. \\ & \left. + \frac{a_2}{3}(t_{\text{ни}}^3 - t_{\text{НК}}^3) + \frac{a_3}{4}(t_{\text{ни}}^4 - t_{\text{НК}}^4) + \frac{a_4}{5}(t_{\text{ни}}^5 - t_{\text{НК}}^5) + \frac{a_5}{6}(t_{\text{ни}}^6 - t_{\text{НК}}^6) + \frac{a_6}{7}(t_{\text{ни}}^7 - t_{\text{НК}}^7)) \right), \end{aligned} \quad (8)$$

где $t_{\text{ни}}$ – температура наружного воздуха в точке излома, найденная из выражения (1);

$t_{\text{нк}}$ – температура наружного воздуха, соответствующая началу (окончанию) отопительного сезона, принимается по нормам [7].

После подстановки в выражение (8) ранее найденных величин составим рейтинг населенных пунктов РФ численностью более 100 тыс. чел. по величине перерасхода тепловой энергии за отопительный сезон при присоединении систем отопления с элеваторным смешением к системам центрального теплоснабжения с различными температурными графиками. Сведем в таблицу полученные данные при температурном графике качественного регулирования отопительной нагрузки 115/70 °C.

Рейтинг населенных пунктов РФ по величине перерасхода тепловой энергии за отопительный сезон при присоединении систем отопления к системам центрального теплоснабжения с температурным графиком качественного регулирования 115/70 °C

Населенный пункт	Величина перерасхода тепловой энергии, ГДж/(ГДж/ч)	В процентах к максимальному перерасходу
1	2	3
Сургут	489,4	100,0
Сыктывкар	467,9	95,6
Красноярск	467	95,4
Томск	450,2	92,0

Транспортная энергетика

Окончание таблицы

1	2	3
Якутск	446,7	91,3
Тобольск	440	89,9
Пермь	435,6	89,0
Мурманск	416	85,0
Екатеринбург	407,8	83,3
Новосибирск	407,1	83,2
Барнаул	406,4	83,0
Вологда	398,4	81,4
Петрозаводск	397,1	81,1
Рубцовск	391,3	80,0
Уфа	390,1	79,7
Архангельск	389,3	79,5
Ижевск	389,1	79,5
Курган	375,3	76,7
Кострома	375,1	76,6
Иркутск	374	76,4
Омск	372	76,0
Улан-Удэ	366	74,8
Нижний Новгород	360,5	73,7
Казань	354,3	72,4
Санкт-Петербург	347,2	70,9
Псков	342,5	70,0
Москва	340,1	69,5
Смоленск	302	61,7
Благовещенск	299,4	61,2
Самара	287,2	58,7
Курск	273,5	55,9
Воронеж	269,5	55,1
Хабаровск	244,6	50,0
Калининград	240,1	49,1
Петропавловск-Камчатский	238,1	48,7
Владивосток	228,3	46,6
Ростов-на-Дону	227,9	46,6
Астрахань	216,6	44,3
Пятигорск	183,8	37,6
Грозный	167,1	34,1
Махачкала	152,3	31,1
Сочи	0,4	0,1

Транспортная энергетика

Как видно из данных таблицы, при использовании одного и того же графика центрально-го регулирования на источнике теплоснабжении потери тепловой энергии при эксплуатации элеваторного смешения на тепловых пунктах потребителей, в зависимости от географического местоположения, существенно отличаются. Так, при средней стоимости 200 р. за 1 ГДж тепловой энергии сокращение затрат при внедрении автоматизированных тепловых пунктов потребителей за отопительный сезон для г. Омска у потребителей с расчетной тепловой нагрузкой 1 ГДж/ч (что эквивалентно отопительной нагрузке двухподъездного пяти-этажного дома) составит 74,4 тыс. р., а для г. Тобольска – 88 тыс. р. А срок окупаемости при условии неизменности стоимости тепловой энергии при стоимости оборудования автоматизированного теплового пункта около 300 тыс. р. составит четыре года для Омска и 3,5 года – для Тобольска.

На основании изложенного можно сделать выводы:

1) в целях экономии материальных и финансовых ресурсов рекомендуется применять предложенный метод определения величины перерасхода тепловой энергии в существующих элеваторных системах отопления, используя температурные графики по теплоисточникам в регионах;

2) с уменьшением расчетной температуры теплоносителя в подающем трубопроводе эффективность работы элеваторных систем снижается;

3) на практике стоимость тепловой энергии по регионам от различных источников отличается в три – четыре раза, поэтому срок окупаемости внедрения автоматизированных тепловых пунктов в отдельных малоэффективных системах централизованного теплоснабжения может составить менее одного года;

4) неизменное повышение стоимости тепловой энергии также влияет на уменьшение сроков окупаемости мероприятий по переходу на местное качественно-количественное регулирование за счет внедрения тепловых пунктов с возможностью автоматизации регулирования параметров теплоносителя.

Список литературы

1. Башмаков, И. А. Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения России [Текст] / И. А. Башмаков // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 2. – С. 6 – 10.
2. Стратегия повышения энергоэффективности коммунальной инфраструктуры Российской Федерации: Отчет о НИР (проект) [Текст] / НП «Российское теплоснабжение», ИЦ «Энергетика города», ОАО «ВНИПИЭнергопром». – М., 2007. – 308 с.
3. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст] / Е. Я. Соколов / МЭИ. М., 1999. – 472 с.
4. Шарапов, В. И. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения [Текст] / В. И. Шарапов, П. В. Ротов. – М.: Новости теплоснабжения, 2007. – 164 с.
5. Яковлев, Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения [Текст] / Б. В. Яковлев. – М.: Новости теплоснабжения, 2008. – 448 с.
6. Строительные нормы и правила СНиП 23-01-1999. Строительная климатология [Текст] / ЦПП. М., 2003.
7. Строительные нормы и правила СНиП 41-02-2003. Тепловые сети [Текст] / ЦПП. – М., 2004.

УДК 621.331:621.311.004.18

А. Л. Каштанов, А. А. Комяков, И. Ю. Норкин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПО КОНТРОЛЮ И УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ В ГРАНИЦАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЗЛА ПО ДАННЫМ АСКУЭ

Возможности, предоставляемые применением АСКУЭ, широки и часто используются не в полной мере. Обработка и использование информации, получаемой по данным АСКУЭ, позволяют осуществлять оперативный контроль электропотребления и на основании архива данных за предыдущие периоды с учетом изменения влияющих факторов определять лимиты электропотребления на нетяговые нужды на любой промежуток времени. К потребителю, допускающему превышение лимита, должны применяться управляющие воздействия, направленные на снижение электропотребления и повышение эффективности использования электрической энергии.

Одним из главных целевых ориентиров «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г.» является снижение энергоемкости перевозочного процесса, в том числе и на железнодорожном транспорте. Решение указанной задачи невозможно без использования научно обоснованной системы контроля и анализа расхода электрической энергии как на тягу поездов, так и в системе электроснабжения нетяговых потребителей.

Существующая в настоящее время система управления электропотреблением на нетяговые нужды предполагает отнесение расхода электроэнергии структурных подразделений (СП) железнодорожных дорог по видам деятельности с установлением лимита электропотребления на эксплуатационные нужды от уровня фактического потребления электроэнергии в предшествующий период с ежегодным заданием снижения электропотребления. При этом расход электрической энергии, отнесенный на другие виды деятельности СП, не лимитируется. Однако такой подход не позволяет учитывать влияние ремонтно-эксплуатационной работы СП, климатических факторов, изменения состава электрооборудования на объем электропотребления и не предполагает возможности непрерывного мониторинга расхода электроэнергии во взаимосвязи с влияющими факторами. Это не позволяет осуществлять эффективный анализ и управление расходом электроэнергии на нетяговые нужды.

Особая роль в вопросе повышения эффективности контроля электропотребления и наведения соответствующего интересам ОАО «РЖД» порядка в управлении энергоресурсами отводится созданию автоматизированной системы управления энергоресурсами, основной целью которой является снижение корпоративных расходов на энергопотребление. Прежде всего это можно обеспечить за счет снижения финансовых издержек, связанных с приобретением электроэнергии. Указанная задача решается в рамках внедряемой на железнодорожных дорогах автоматизированной системы коммерческого учета электрической энергии (АСКУЭ). Технологическая схема реализации проекта АСКУЭ удовлетворяет жестким условиям формируемого рынка и позволяет эффективно управлять не только внешними закупками энергии, но и успешно оптимизировать ее использование внутри железнодорожных дорог.

Автоматизированная система коммерческого учета электрической энергии на нетяговые нужды включает в себя два уровня:

автоматизированная система коммерческого учета железнодорожных узлов (АСКУЭ ЖУ);

автоматизированная система коммерческого учета в рамках розничного рынка электроэнергии (АСКУЭ РРЭ).

При внедрении данной системы может быть решен следующий комплекс задач [1]:
сбор, обработка и представление информации об энергопотреблении;
предоставление отчетов и справок о деятельности объекта на основе автоматизированного составления различных форм и видов информационных документов;

Транспортная энергетика

обработка информации на основе научно обоснованной методологии, поддержки принятия решений;

контроль и управление энергопотреблением объектов предприятий.

Первые две задачи являются практически стандартными для любого потребителя. Решение третьей и четвертой задач является более сложным и в полной мере определяется технологией электропотребления объекта исследования. Реализация перечисленных выше задач позволяет полностью реализовать возможности автоматизированных систем контроля учета энергоресурсов.

Контроль и управление энергопотреблением объектов за счет выработки управляющих воздействий в связи со значительным объемом исходных данных является весьма трудоемким процессом, в результате чего предлагаемые решения, направленные на снижение удельного расхода электрической энергии, могут содержать ряд ошибочных данных. Решение данной проблемы возможно за счет разработки и внедрения программного продукта (АРМ «Контроль и управление электропотреблением»), основанного на применении систем АСКУЭ ЖУ и АСКУЭ РРЭ, позволяющего автоматизировать процесс выработки управляющих воздействий и тем самым сократить трудозатраты, повысить точность выполняемых расчетов и своевременно реагировать на ситуации, которые ведут к увеличению непроизводительного расхода электроэнергии.

Автоматизированный программный комплекс «АРМ «Контроль и управление электропотреблением» в соответствии с механизмом проводимых расчетов имеет трехмодульную структуру (рисунок 1) и ориентирован на управление электропотреблением предприятия, вследствие чего систематизация и обработка исходных данных, а также результатов расчета выполняются раздельно по каждому структурному подразделению СП – филиалу ОАО «РЖД».

Первый модуль АРМа «Контроль и управление электропотреблением» включает в себя четыре основных блока, назначением которых является следующее:

обработка данных по расходу электрической энергии структурными подразделениями;

анализ объема выполненных работ за отчетный период (месяц, квартал) и изменение состава электрооборудования (установленной мощности) по структурным подразделениям;

ввод данных, характеризующих показатели природно-климатических факторов, влияющих на уровень электропотребления;

формирование отчетных форм.

В настоящее время основной проблемой является обеспечение синхронизации работы программного комплекса с автоматизированными системами АСКУЭ ЖУ и АСКУЭ РРЭ. Ввод остальных параметров, характеризующих уровень энергоэффективности предприятия, выполняет вручную персонал структурных подразделений.

Автоматизация заполнения типовых форм позволит исключить необходимость повторного ввода данных и их утерю. Утвержденные и защищенные от видоизменения типовые формы обеспечат единообразие и техническую правильность их заполнения.

Наличие второго модуля позволит контролировать достоверность исходных данных и выполняемых расчетов. Выходная информация по проверке типовых форм представляется в виде справки об обнаруженных ошибках.

Третий уровень АРМа «Контроль и управление электропотреблением» представляет собой модуль, отвечающий за анализ полученных результатов. Выходной информацией анализа результатов является следующее:

- сравнительный анализ удельных норм по СП в границах железной дороги;
- сравнительный анализ фактического расхода электроэнергии и установленных норм по СП;
- направления по повышению экономической эффективности;
- динамика изменения эффекта по отчетным периодам;

Транспортная энергетика

– представление полученных результатов (в графическом или табличном виде) с разбивкой по направлениям получения экономического эффекта.

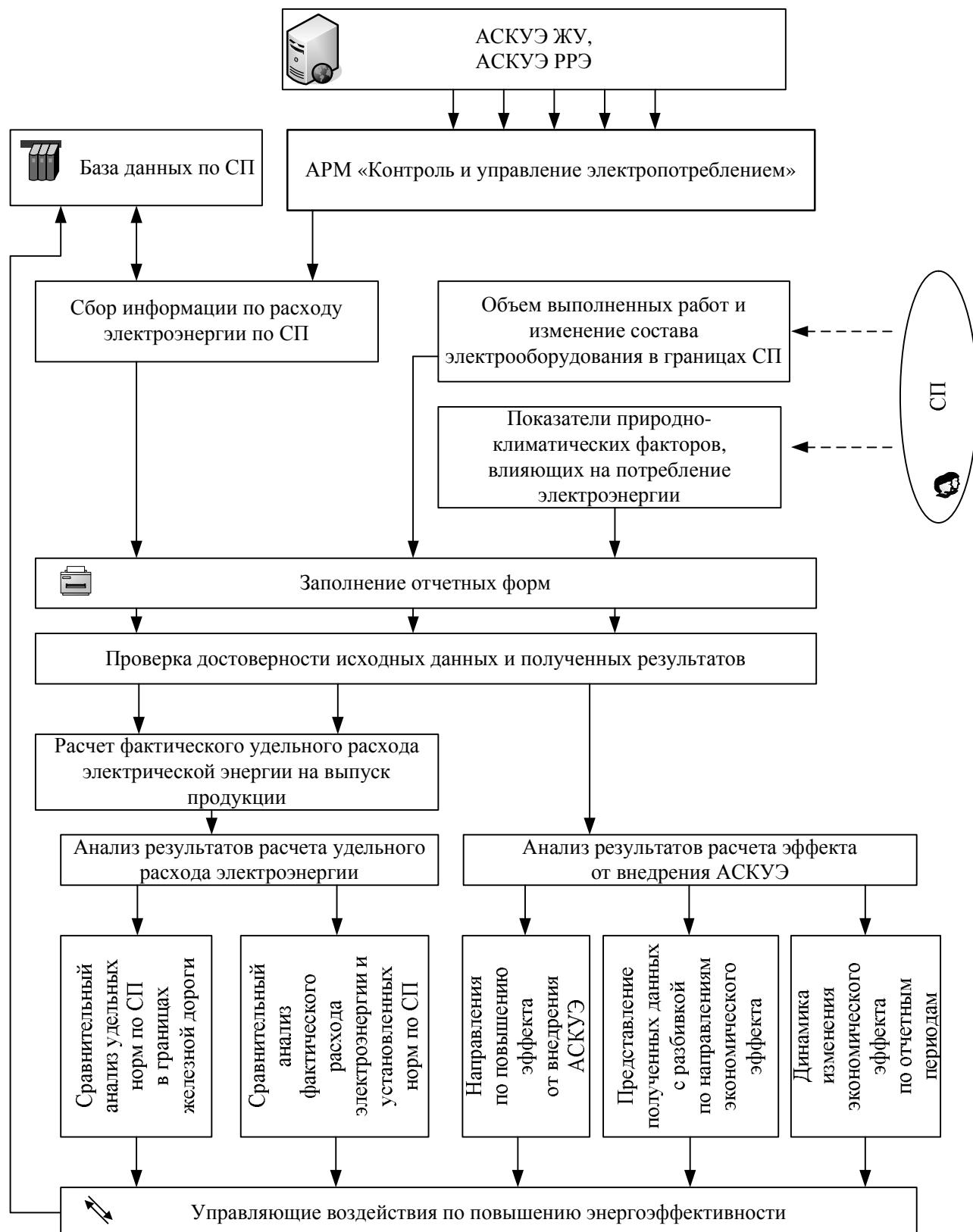


Рисунок 1 – Структура программного продукта АРМа «Контроль и управление электропотреблением»

Транспортная энергетика

На основании данных выполненного анализа проводится разработка управляющих воздействий, направленных на повышение эффективности потребления электрической энергии.

В качестве основы предлагаемой системы контроля и управления электропотреблением предлагается применять метод нормирования расхода электроэнергии по направлениям использования или по типовым объектам. Под типовыми объектами СП следует понимать цеха, отделения или производственные участки независимо от их принадлежности по хозяйственным железнодорожным или иных филиалах ОАО «РЖД», характеризующиеся определенным набором оборудования, видами выполняемых работ и режимами работы.

Выбор измерителей работы для каждого типового объекта (либо направления использования электроэнергии) должен основываться на следующих принципах:

- в границах типового объекта должен быть единый измеритель конечной продукции;
- измеритель готовой продукции должен быть отражен в существующей статистической отчетности железной дороги;
- объем работы типового объекта должен подлежать достоверному прогнозированию.

Количество типовых объектов в границах каждого СП должно быть достаточным для достоверного отражения особенностей электропотребления.

Рассмотрим порядок определения удельного расхода электроэнергии на нетяговые нужды на примере дистанций электроснабжения Кузбасского отделения Западно-Сибирской железной дороги. Предварительный перечень основных типовых объектов и измерителей ремонтно-эксплуатационной работы для исследуемых СП представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Укрупненный перечень основных типовых объектов в дистанциях электроснабжения Кузбасского отделения Западно-Сибирской железной дороги

Наименование типового объекта	Измеритель работы	Основные внешние факторы, оказывающие влияние на расход электроэнергии
Тяговые подстанции, районы контактной сети, посты секционирования (ПС) и пункты параллельного соединения (ППС) Прочие административные и служебно-технические здания без применения электроотопления (контора, гараж, ремонтно-ревизионный участок, административные здания сетевых районов)	100 технических единиц 1 м ² площади зданий	Температура воздуха, изменение состава электрооборудования Продолжительность светового дня, изменение состава электрооборудования

Для определения степени влияния внешних факторов на расход электрической энергии использованы методы корреляционного и регрессионного анализа [2]. При этом в качестве исходных данных принята информация об объеме электропотребления и об изменении внешних факторов по дистанциям электроснабжения за 2007 – 2009 гг. поквартально. В результате получено, что расход электроэнергии на собственные нужды тяговых подстанций зависит главным образом от температуры воздуха с коэффициентом корреляции, находящимся в пределах 0,95 – 0,97 для разных дистанций электроснабжения, а расход электроэнергии в прочих административных и служебно-технических зданиях – от продолжительности светового дня (коэффициент корреляции изменяется от 0,61 до 0,97). В соответствии с этим разработаны аналитические выражения для определения расхода электроэнергии на нетяговые нужды, представленные в таблице 2. В выражениях, приведенных в таблице 2, приняты следующие обозначения: W – расход электрической энергии на нетяговые нужды, тыс. кВт·ч; t – среднеквартальная температура воздуха, °С; $L_{\text{св. дня}}$ – продолжительность светового дня, мин.

Транспортная энергетика

Таблица 2 – Аналитические выражения для определения расхода электроэнергии на нетяговые нужды

Наименование типового объекта	Дистанции электроснабжения			
	Тайга	Кемерово	Белово	Новокузнецк
Тяговые подстанции, районы контактной сети, ПС и ППС	$W = -51,7t + 1271,2$	$W = -47,6t + 1225,9$	$W = -47,9t + 1194,7$	$W = -62,7t + 1658,9$
Прочие административные и служебно-технические здания	$W = -0,38L_{\text{св. дня}} + 383,11$	$W = -0,06L_{\text{св. дня}} + 77,91$	$W = -0,96L_{\text{св. дня}} + 925,94$	$W = -0,5L_{\text{св. дня}} + 502,24$

Значимость полученных уравнений регрессии (см. таблицу 2) подтверждена с использованием коэффициента детерминации. Приведенные в таблице 2 выражения позволяют рассчитать планируемые объемы потребления электроэнергии для типовых объектов, что с учетом планируемого изменения ремонтно-эксплуатационной работы дает возможность определения удельной нормы расхода электроэнергии на выпуск единицы продукции. Для примера на рисунке 2 представлены результаты расчета фактического удельного расхода электроэнергии на собственные нужды тяговых подстанций, районов контактной сети, ПС и ППС за 1-й квартал 2009 и 2010 гг. Плановые значения определялись в соответствии с выражениями, приведенными в таблице 2.

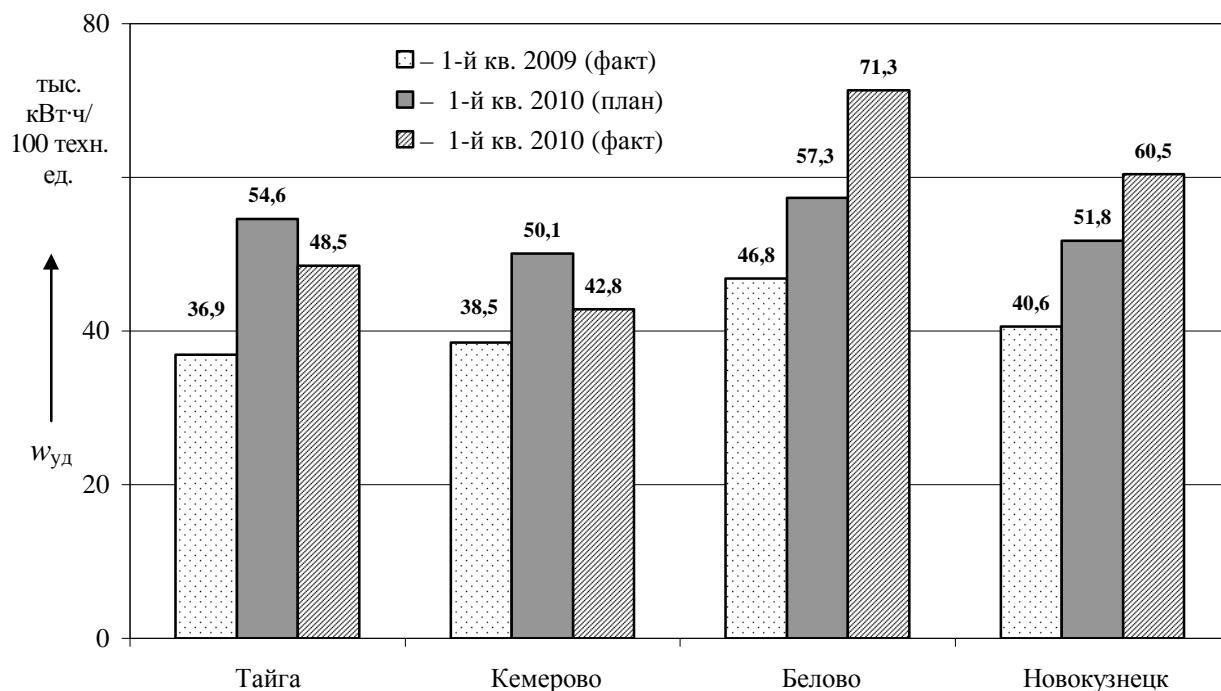


Рисунок 2 – Удельный расход электрической энергии на выпуск единицы продукции в дистанциях электроснабжения Кузбасского отделения Западно-Сибирской железной дороги

Удельный расход электроэнергии в 2010 г. существенно вырос в сравнении с предыдущим годом, что в значительной мере обусловлено снижением средней температуры воздуха (-9°C в 2009 г., -18°C – в 2010 г.). Установление лимита электропотребления по факту предыдущего периода (по существующей системе) дает значительное расхождение планируемого и фактического удельного расхода (36,9 % для исследуемых дистанций электроснабжения). Однако применение предлагаемого метода позволяет с высокой степенью достоверности определять плановые значения расхода электроэнергии с погрешностью, равной 4,4 %.

Мониторинг удельного расхода электроэнергии позволяет определить СП, допускающие превышение нормируемых показателей. Как видно из рисунка 2, к таким СП относятся дистанции электроснабжения Белово и Новокузнецк (превышение – на 24,4 и 17,7 % соответственно). Своевременное выявление таких случаев дает возможность применять соответствующие управляющие воздействия для снижения нерационального расхода электрической энергии.

Список литературы

1. Методика определения экономической эффективности создания автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии розничных рынков электрической энергии (АСКУЭ РРЭ) ОАО «РЖД» [Текст] / Под ред. В. Т. Черемисина / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2009. – 82 с.
2. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

УДК 621.331:621.311.4:621.3

П. В. Тарута, М. А. Карабанов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ПРОВАЛА НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ РЕЗЕРВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

В статье приведены исследования процесса подключения выпрямительных агрегатов. Установлено, что в момент подключения возникает бросок тока, который приводит к недопустимой величине провала напряжения на шинах 10 и 0,23 кВ.

В последние годы наблюдается увеличение грузоперевозок и повышение весовых норм поездов. Это, в свою очередь, вызывает увеличение тяговых нагрузок, которое приводит к все более частому автоматическому подключению на тяговых подстанциях вторых выпрямительных агрегатов параллельно работающим. Данные моменты сопровождаются провалами напряжения на шинах 10 кВ, приводящие к серьезным сбоям в работе устройств СЦБ и связи, к излишним переходам с основного питания на резервное и обратно, а также к ложному срабатыванию КТСМ (комплект технических средств модернизированный) и УКСПС (устройство контроля схода подвижного состава), перекрытию маневровых сигналов, отключению фидеров нетяговых потребителей. Это определяет существенное изменение требований к системе электроснабжения устройств железнодорожной автоматики и связи.

Особый подход проявляется в первую очередь в безусловном соблюдении соответствия качества питающих напряжений требованиям ГОСТ 13109-97. Только при этом условии может быть обеспечено надежное функционирование электронной и микропроцессорной аппаратуры указанных выше систем.

В связи с многократными случаями сбоев и отказов этих устройств на Западно-Сибирской железной дороге были проведены измерения провалов напряжения на шинах 10 кВ и шинах собственных нужд 0,23 кВ, к которым подключены трансформаторы СЦБ, при включении вторых выпрямительных агрегатов. Для измерений использовался регистратор аварийных событий «Транс-АУРА», схема подключения которого приведена на рисунке 1.

Во время эксперимента было проведено более 100 включений выпрямительных агрегатов. В результате статистической обработки данных построена интегральная функция распределения (рисунок 2) глубины провала напряжения на шинах 0,23 кВ в процессе включения выпрямителей.

Транспортная энергетика

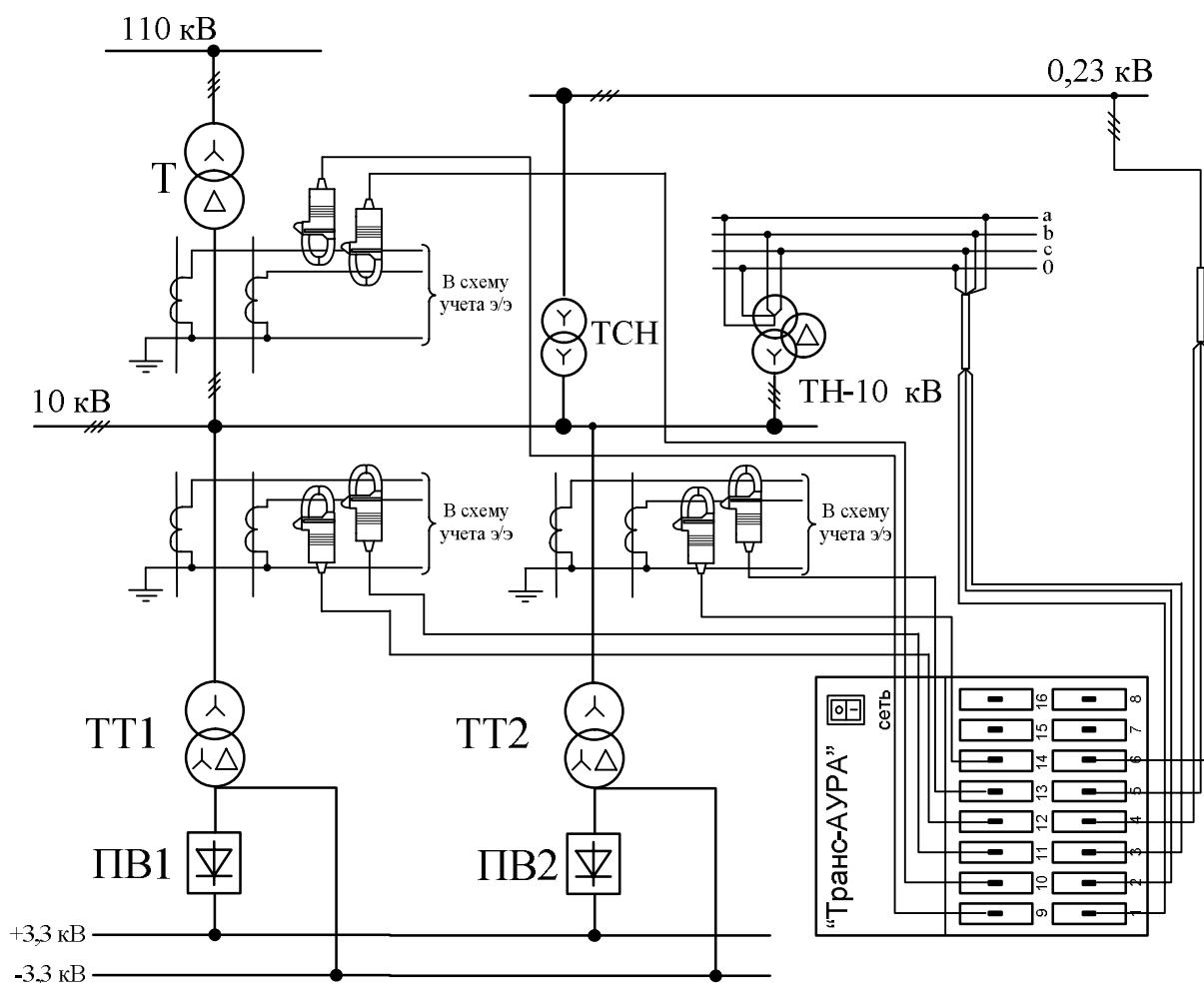


Рисунок 1 – Схема подключения регистратора аварийных событий «Транс-АУРА»

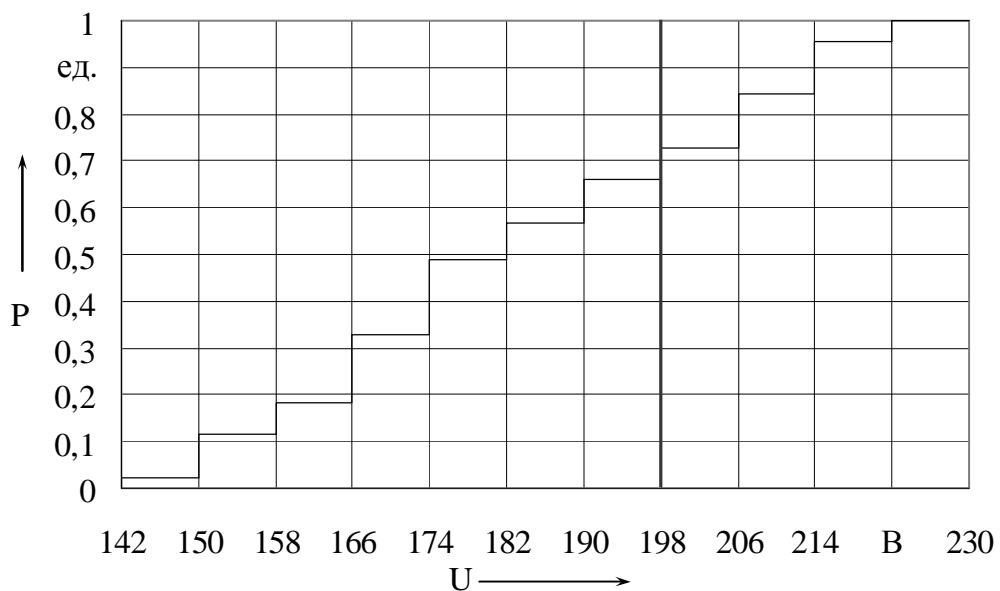


Рисунок 2 – Интегральная функция распределения глубины провала напряжения на шинах 0,23 кВ

Величина отклонения напряжения регламентируется «Правилами технической эксплуатации железных дорог РФ» [1]. В соответствии с Правилами номинальное напряжение переменного тока на устройствах СЦБ должно быть 220 В. Отклонение от указанной величины

Транспортная энергетика

допускается в сторону уменьшения не более 10 %, а в сторону увеличения – не более 5 %. Таким образом, в соответствии с полученной функцией распределения в 66 % случаев происходит снижение величины напряжения ниже предельно допустимого значения 198 В.

Максимальный провал напряжения наблюдается в течение первого периода после момента включения контактов выключателя выпрямителя. Причем глубина провала в фазах сети различна. В качестве примера приведены характерные графики действующих значений напряжений в процессе включения выпрямителя подстанции, где зафиксировано снижение напряжения на шинах 0,23 кВ на одной из фаз до 148 В (рисунок 3, а). В тот же момент на шинах 10 кВ одноименной фазы величина провала напряжения составила 1900 В (рисунок 3, б). В момент включения выпрямителя произошло отключение основного фидера СЦБ 10 кВ с включением питания этого фидера от смежной подстанции по АВР. Одновременно из-за кратковременного понижения напряжения отключались нагрузки городской электросети, питающиеся от фидеров 10 кВ этой же подстанции.

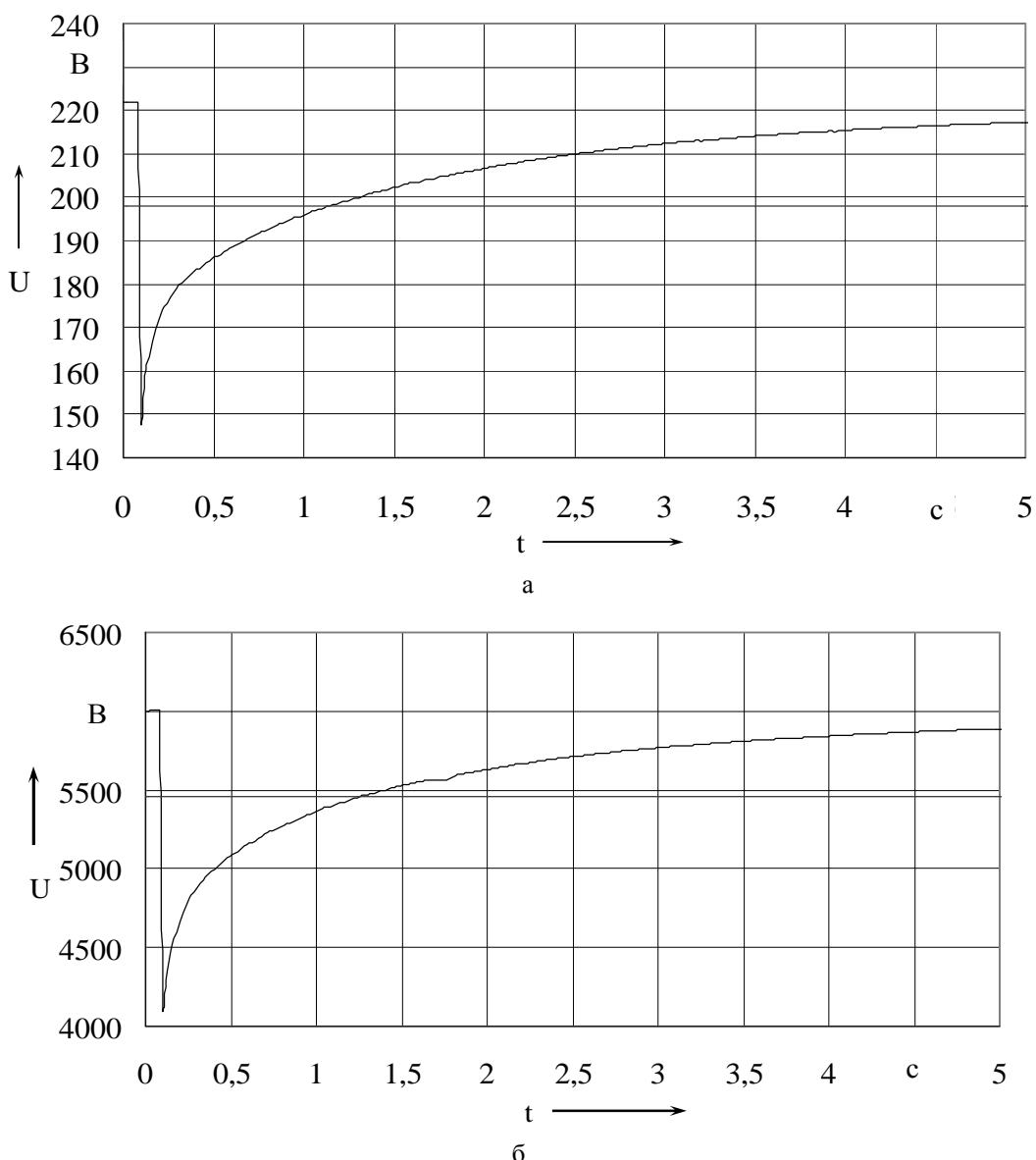


Рисунок 3 – Провал напряжения на шинах 0,23 кВ (а) и 10 кВ (б)

Провалы напряжения являются следствием влияния бросков токов намагничивания тяговых трансформаторов. В процессе измерения этот ток был зафиксирован по всем трем фазам, но наибольшая его величина была зафиксирована в фазе С, на которой произошел максимальный

Транспортная энергетика

провал напряжения. На рисунке 4 изображен переходный процесс, в котором величина броска тока достигла 4250 А, что соответствует $4,6I_{\text{ном}}$ тягового трансформатора подстанции.

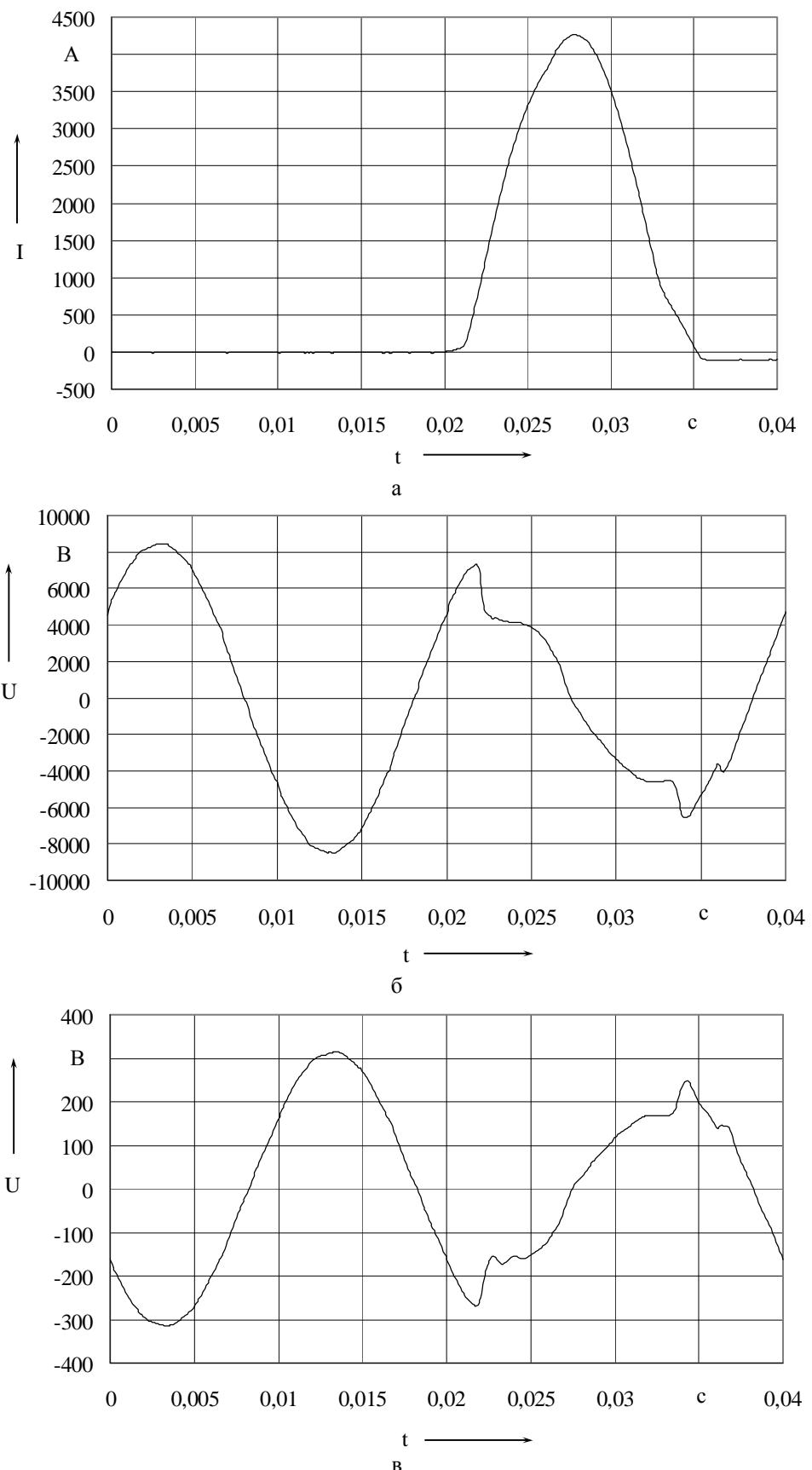


Рисунок 4 – Переходный процесс при подключении второго выпрямительного агрегата:
а – ток; б и в – напряжение на шинах 10 и 0,23 кВ

Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

Данные эксперимента позволяют сделать вывод о том, что причиной провалов напряжения являются броски тока намагничивания в момент подключения вторых выпрямительных агрегатов параллельно работающим. В соответствии со «Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г.», в которой акцентировано внимание на увеличение грузоперевозок и срока службы оборудования, процесс подключения выпрямительных агрегатов становится весьма актуальным и требует повышенного внимания, изучения и принятия конкретных технических решений, направленных на минимизацию броска тока намагничивания.

Это позволит улучшить качество электроснабжения устройств СЦБ и связи, а также нетяговых потребителей, что приведет к повышению надежности функционирования данных устройств и безопасности движения поездов.

1. Правила технической эксплуатации железных дорог РФ [Текст]. – М.: Транспорт, 2000. – 191 с.

УДК 004.62:510.8:517.98

С. С. Грицутенко

АДЕКАВТАНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНАЛОГИЙ В ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

В статье рассматриваются проблемы, возникающие при переходе от работы с аналоговыми сигналами к сигналам, представленным в дискретной форме, а также спектры функций и последовательностей и линейность фазы фильтров с конечной импульсной характеристикой. Предлагаются критерии аналогичности в широком и узком смыслах, на базе которых решаются проблемы аналогий. В конце статьи вводится модифицированная дельта-функция.

Современные железные дороги представляют собой комплекс сложных технических систем. Важное место среди этих систем занимают устройства связи и измерительное оборудование. В связи с быстрым развитием микропроцессорной техники актуален вопрос о переходе от обработки сигналов в аналоговой форме к цифровой обработке сигналов (ЦОС). Под ЦОС обычно понимают набор математических операций над последовательностями дискретных значений, т.е. объектом ЦОС является последовательность, но применяют ЦОС чаще всего для обработки непрерывных функций. Вследствие этого последовательности (дискретные значения) пытаются обрабатывать так, как обрабатываются в сходных ситуациях непрерывные функции. Однако обрабатывать последовательности так же, как функции, невозможно, так как это совершенно разные математические объекты. Поэтому результаты операций при работе с дискретными значениями сигнала и результаты аналогичных операций над непрерывной функцией могут серьезно расходиться. В этом случае говорят о проблеме аналогий.

Проблема аналогий – это невозможность подобрать операцию над пространством последовательностей, аналогичную операции над пространством функций, и наоборот. Рассмотрим несколько примеров.

Как известно, функцию $x(t)$ с периодом P можно разложить в ряд Фурье. Коэффициенты этого ряда вычисляются при помощи формулы:

$$X(k) = \frac{1}{P} \int_0^P x(t) e^{-j \frac{2\pi}{P} kt} dt. \quad (1)$$

Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

Коэффициенты разложения периодической последовательности $x(n)$ определяются при помощи формулы дискретного преобразования Фурье (ДПФ):

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, \quad (2)$$

где N – длина последовательности.

Очевидно, что если $x(t)$ – четная функция (симметричная относительно нуля), то коэффициенты Фурье строго действительны. Верно и обратное утверждение, но из четности (симметричности) последовательности действительность отсчетов ДПФ уже не следует. Так, симметричной последовательности $x(n) = \{1, 1, 5, 1, 1\}$ соответствует комплексное ДПФ:

$$X(k) = \{9, 0000, -3, 2361 - j2, 3511, 1, 2361 + j3, 8042, 1, 2361 - j3, 8042, -3, 2361 + j2, 3511\},$$

а несимметричной последовательности $x(n) = \{5, 1, 1, 1, 1\}$, наоборот, соответствует действительное ДПФ: $X(k) = \{9, 4, 4, 4, 4\}$.

Рассмотрим следующий пример. В учебниках по теории ЦОС часто приводится следующее утверждение: «*Импульсная характеристика для физически реализуемых КИХ-систем (систем с конечной импульсной характеристикой – прим. авторов) с линейной фазой обладает свойствами симметрии*» [1]. И далее приводится формула, поясняющая какая именно симметрия имеется в виду:

$$h(n) = h(N-1-n), \quad (3)$$

где $h(n)$ – импульсная характеристика КИХ-системы, а N – ее длина.

То есть в КИХ-системе, по утверждению авторов, самый первый и самый последний элементы импульсной характеристики должны быть равными, если фаза линейна. Данное утверждение ложно, оно иллюстрирует одно из наиболее ярких проявлений проблемы аналогий.

Действительно, в отношении функций однозначно доказывается, что для линейности фазы необходимо и достаточно симметричности функции, но для последовательностей доказывается только достаточность этого утверждения – для линейности фазы достаточно симметричности последовательности. Необходимость же просто декларируется исходя из соображений «аналогичности».

Покажем, что существуют системы с несимметричными импульсными характеристиками, но тем не менее с линейной фазой. Возьмем строго симметричную импульсную характеристику, например, $h(n) = \{1, 2, 3, 3, 2, 1\}$. Так как последовательность $h(n)$ симметрична, то фаза системы линейна, и, следовательно, ее частотную характеристику можно представить в виде: $H(\omega)e^{-j\omega T_1}$, где $H(\omega)$ – строго действительная величина. Теперь получим из $h(n)$ новую импульсную характеристику при помощи задержки на целое число отсчетов (время T_2): $h_1(n) = \{0, 0, \dots, 1, 2, 3, 3, 2, 1\}$. Эта импульсная характеристика уже не симметрична в смысле формулы (3), но фаза $F_1(\omega)$ такой системы все еще остается линейной. Докажем это:

$$H_1(\omega) = H(\omega)e^{-j\omega T_1}e^{-j\omega T_2} = H(\omega)e^{-j\omega(T_1+T_2)}; \quad (4)$$

$$F_1(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im}(H_1(\omega))}{\operatorname{Re}(H_1(\omega))} = \operatorname{arctg} \frac{H(\omega)\sin(\omega(T_1+T_2))}{H(\omega)\cos(\omega(T_1+T_2))} = -\omega(T_1+T_2)_2, \quad (5)$$

что и требовалось доказать.

Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

Наконец, опишем весьма необычный эффект, возникающий при интерполяции. Для этого возьмем КИХ-фильтр с импульсной характеристикой $h(n)$, которая отлична от нуля только на промежутке времени $[T_0, T_1]$. Вне этого отрезка она тождественно равна нулю. В момент времени T_0 на фильтр подается воздействие в виде дельта-последовательности $\delta(n) = \{1, 0, 0, 0, \dots\}$, а на выходе фильтра видим конечную реакцию $h(n)$, которая длится до момента T_1 .

Если провести интерполяцию импульсной характеристики КИХ-фильтра по интерполяционной формуле Котельникова (например, в десять раз – между двумя отсчетами добавим девять новых):

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x(nT) \frac{\sin \frac{\pi}{T}(t-nT)}{\frac{\pi}{T}(t-nT)}, \quad (6)$$

то получим следующую картину: импульсная характеристика КИХ-фильтра перестанет быть конечной. После момента времени T_1 у импульсной характеристики появляется продолжение.

Самое интересное заключается в том, что у импульсной характеристики появляется также и предыстория – ненулевые значения до момента времени T_0 (момента подачи входного воздействия). Другими словами, получается, что сигнал на выходе системы опережает сигнал на входе.

Причина проблем аналогий, как отмечалось выше, состоит в том, что разработчик не всегда может найти для пространства последовательностей аналогию в пространстве функций (имеется в виду вектор пространства, операция над векторами и т. д.). Следовательно, должны существовать критерии аналогичности объектов пространства последовательностей и пространства функций.

Рассмотрим два критерия аналогичности – аналогичность в широком и в узком смысле.

Предположим, имеются два пространства Гильберта: пространство функций $X = \{x(t)\}$ и пространство последовательностей $X_d = \{x(nT)\}$. Векторы пространства X_d получают из векторов пространства X при помощи дискретизации с периодом T .

Определение 1: вектор пространства X_d считается аналогичным вектору пространства X в широком смысле, если

$$\lim_{T \rightarrow 0} x(nT) = x(t). \quad (7)$$

Определение 2: операция F_d над вектором пространства X_d считается аналогичной операции F над вектором пространства X в широком смысле, если

$$\lim_{T \rightarrow 0} F_d[x(nT)] = F[x(t)]. \quad (8)$$

Для иллюстрации введенного понятия рассмотрим алгоритм измерения энергии сигнала. Для этого введем определение энергии функции (аналогового сигнала) на интервале $t \in [a, b]$:

$$E_a = \int_a^b x^2(t) dt \quad (9)$$

и энергии последовательности (дискретного сигнала) на том же интервале:

Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

$$E_d = \sum_{\substack{n=a \\ n=\frac{a}{T}}}^{\frac{b}{T}} x^2(nT). \quad (10)$$

Очевидно, что если период дискретизации T взять, например, в два раза меньше, то энергия последовательности E'_d , вычисляемая по формуле (10), увеличится, так как увеличится и количество отсчетов:

$$E'_d = \sum_{\substack{n=a \\ n=\frac{a}{T}}}^{\frac{b}{T}} x^2(nT) + \sum_{\substack{n=a \\ n=\frac{a}{T}}}^{\frac{b}{T}} x^2\left(T\left(n+\frac{1}{2}\right)\right) = E_d + E''_d, \quad (11)$$

где E''_d – энергия новых отсчетов.

Таким образом, очевидно, что преобразование (10) не аналогично преобразованию (9), так как при уменьшении интервала дискретизации T энергия последовательности $x(nT)$ пропорционально возрастает и не стремится к энергии функции.

Предложим преобразование, которое будет аналогичным в широком смысле.

$$E_d = T \sum_{\substack{n=a \\ n=\frac{a}{T}}}^{\frac{b}{T}} x^2(nT). \quad (12)$$

В соответствии с критерием аналогичности и определением интеграла Римана имеем:

$$E_d = \lim_{T \rightarrow 0} \sum_{\substack{n=a \\ n=\frac{a}{T}}}^{\frac{b}{T}} x^2(nT)T = \int_a^b x^2(t)dt = E_a = E. \quad (13)$$

Таким образом, преобразования (12) и (9) аналогичны.

Из аналогичности в широком смысле не следует, что результаты аналогичных операций для пространства последовательностей и пространства функций будут совпадать, они будут совпадать только в пределе, при $T \rightarrow 0$. Это не всегда удобно, поэтому для операций предлагается ввести также критерий аналогичности в узком смысле.

Определение 3: операция F_d над вектором пространства X_d считается аналогичной операции F над вектором пространства X в узком смысле, если

$$F_d[x(nT)] = F[x(t)]. \quad (14)$$

Для иллюстрации введенного понятия рассмотрим алгоритм измерения энергии сигнала для функций с ограниченным спектром, по Котельникову, и последовательностей, полученных из данных функций при помощи дискретизации, т. е. докажем аналогичность формулы

$$E_a = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2(t)dt \quad (15)$$

и формулы

$$E_d = T \sum_{n=-\infty}^{n=-\infty} x^2(nT). \quad (16)$$

Разложим в формуле (15) функцию $x(t)$ по формуле (6):

Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

$$E_a = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x(nT) \frac{\sin \frac{\pi}{T}(t-nT)}{\frac{\pi}{T}(t-nT)} \right)^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\sum_{l=-\infty}^{l=+\infty} x(lT) \frac{\sin \frac{\pi}{T}(t-lT)}{\frac{\pi}{T}(t-lT)} \right) \left(\sum_{r=-\infty}^{r=+\infty} x(rT) \frac{\sin \frac{\pi}{T}(t-rT)}{\frac{\pi}{T}(t-rT)} \right) dt. \quad (17)$$

После перемножения многочленов в скобках получается сумма членов вида:

$$x(lT)x(rT) \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin \frac{\pi}{T}(t-lT)}{\frac{\pi}{T}(t-lT)} \right] \left[\frac{\sin \frac{\pi}{T}(t-rT)}{\frac{\pi}{T}(t-rT)} \right] dt. \quad (18)$$

Так как функции в скобках являются ортогональными, то все члены, для которых выполняется условие $l \neq r$, равны нулю, в а случае, когда $l = r = n$, получается табличный интеграл:

$$x^2(nT) \frac{T}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin \frac{\pi}{T}(t-nT)}{\frac{\pi}{T}(t-nT)} \right]^2 d \frac{\pi}{T}(t-nT) = x^2(nT) \frac{T}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin^2 x}{x} dx = x^2(nT) \cdot T. \quad (19)$$

Формула (15) приобретает вид:

$$E_a = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt = T \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x^2(nT) = E_d, \quad (20)$$

что и требовалось доказать.

Начнем решение проблем аналогии в том порядке, как они были поставлены.

Действительность спектров несимметричных последовательностей объясняется неаналогичностью стандартной формулы ДПФ. ДПФ, как известно, разлагает исходную последовательность на последовательности косинусов (действительная часть спектра) и последовательности синусов (мнимая часть), но если в формуле вычисления коэффициентов разложения функции (1) косинус – строго симметричная (четная) функция, то в формуле ДПФ (2) последовательность косинуса несимметрична. Например, если взять последовательность косинуса с частотой в четверть частоты дискретизации, получим следующее:

$$\{1, 0, -1, 0\}. \quad (21)$$

А так как за действительную часть спектра «отвечают» несимметричные последовательности, то симметричную последовательность по ним разложить невозможно. Поэтому появляется мнимая часть спектра. Следовательно, при традиционном ДПФ базисные последовательности не аналогичны базисным функциям при разложении в ряд Фурье.

Казалось бы, для решения проблемы аналогичности достаточно сдвинуть все отсчеты, например, на половину T (интервала дискретизации), но возникает вопрос: а как сдвигать на половину T дельта-последовательность $\{1, 0, 0, 0, \dots\}$? Как это сделать с точки зрения аналогичности, рассмотрим позже.

Линейность фазы КИХ-фильтров с несимметричной импульсной характеристикой объясняется неправильной формулировкой заявленной теоремы. Ниже приведем правильную формулировку.

Теорема: последовательность $x(n)$ имеет линейную фазу на интервале $]-\pi, \pi[$ тогда и только тогда, когда функция $x(t)$, получаемая из интерполирующей формулы Котельникова (5), имеет хотя бы одну ось симметрии.

Сначала докажем условие достаточности – если $x(t)$ имеет ось симметрии, то последовательность $x(n)$ имеет линейную фазу.

Доказательство.

1. Функция $x(t)$ имеет ось симметрии.
2. Следовательно, спектр этой функции $X(\omega)$ имеет линейную фазу.
3. Спектр функции $x(t)$ на интервале $]-\pi, \pi[$ в точности соответствует спектру последовательности $x(n)$.

4. Следовательно, спектр последовательности имеет линейную фазу на интервале $]-\pi, \pi[$.

Что и требовалось доказать.

Докажем условие необходимости – если последовательность $x(n)$ имеет линейную фазу, то функция $x(t)$ имеет хотя бы одну ось симметрии.

Доказательство.

1. Спектр последовательности $x(n)$ имеет линейную фазу.
2. Спектр функции $x(t)$ на интервале $]-\pi, \pi[$ в точности соответствует спектру последовательности $x(n)$.
3. Следовательно, спектр функции $x(t)$ на интервале $]-\pi, \pi[$ имеет линейную фазу, а сама функция $x(t)$ имеет ось симметрии.

Что и требовалось доказать.

Наконец, чтобы выяснить, что происходит с причинностью, необходимо разобраться, что же представляет собой дельта-последовательность на самом деле.

Для того чтобы понять, что такое дельта-последовательность, необходимо сначала ответить на вопрос, почему при дискретизации «обычной» функции мы имеем последовательность из значений этой функции в моменты дискретизации, а при дискретизации дельта-функции Дирака, мы имеем нечто иное – дельта-последовательность $\{1, 0, 0, \dots\}$, хотя по аналогии можно было ожидать последовательность вида $\{+\infty, 0, 0, \dots\}$.

Ответ достаточно прост: мы не можем дискретизировать дельта-функцию Дирака. Дискретизации подлежат только функции со спектром, ограниченным по Котельникову. А спектр дельта-функции Дирака бесконечный и, следовательно, неограниченный. Таким образом, необходимо найти среди сигналов с ограниченным спектром аналогию дельта-функции Дирака.

Дельта-функция Дирака $\delta(t)$ определяется из своего фильтрующего (стробирующего) свойства:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \delta(t - \tau) d\tau. \quad (22)$$

Свертка функций $x(t)$ и $\delta(t)$ во временной области эквивалентна произведению спектров этих функций в частотной области, но если $x(t)$ имеет спектр $X(\omega)$, ограниченный, по Котельникову, отрезком на оси частот $[-\Omega, \Omega]$, то можно подобрать функцию $\delta_m(t)$ с таким спектром $\Lambda(\omega)$, что будет выполняться соотношение:

$$X(\omega) = X(\omega) \Lambda(\omega). \quad (23)$$

В том случае, если

$$\Lambda(\omega) = \begin{cases} 1, & \omega \subset [-\Omega, \Omega], \\ 0, & \omega \not\subset [-\Omega, \Omega]; \end{cases} \quad (24)$$

$$\delta_m(t) = \frac{\Omega}{\pi} \frac{\sin(\Omega t)}{\Omega t} = \frac{1}{T} \frac{\sin(\frac{\pi}{T}t)}{\frac{\pi}{T}t}. \quad (25)$$

Очевидно, что $\delta_m(t)$ является модифицированной дельта-функцией: с одной стороны, она ограничена по Котельникову, а с другой стороны, в отношении нее истинно соотношение (20) для любой функции $x(t)$, также ограниченной по Котельникову.

Так как $\delta_m(t)$ является обычной функцией sin, то становится понятным парадокс нарушения принципа причинности. Собственно никакого нарушения принципа причинности нет. Просто надо учитывать, что функция sin не является финитной, т. е. не имеет начала. Соответственно отклик на такую функцию тоже начала не имеет.

В заключение сделаем некоторые выводы. При цифровой обработке разработчик может столкнуться с так называемыми проблемами аналогий, которые возникают в случае механического переноса алгоритмов над функциями на последовательности. Основной причиной этих проблем является попытка применения математического аппарата гильбертовых пространств к векторам, данным пространствам не принадлежащим, как это имеет место быть при попытках использования дельта-функции Дирака, при работе с функциями, ограниченными по Котельникову. Для решения этой проблемы предложена модифицированная дельта-функция, которая, с одной стороны, входит в пространство функций, ограниченных по спектру, а с другой стороны, имеет фильтрующее (стробирующее) свойство в отношении всех функций этого пространства.

1. Оппенгейм, А. В. Цифровая обработка сигналов / А. В. Оппенгейм, Р. В. Шафер. – М.: Связь, 1979. – 416 с.

УДК 681.3.06+519.6

С. С. Лутченко, Е. Ю. Копытов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РАДИОСТАНЦИЙ В СРЕДЕ ANYLOGIC

В статье рассматривается одна из актуальных проблем – определение реальных сроков между обслуживанием изделий технологической радиосвязи. Исследована модель определения оптимального времени между техническим обслуживанием изделий технологической радиосвязи. Проведена разработка модели процессов технического обслуживания радиостанций в среде AnyLogic.

Определение реальных сроков между обслуживанием изделий технологической радиосвязи является одной из главных задач на этапе эксплуатации. Периодичность контроля и технического обслуживания (ТО) зависит от многих случайных факторов. Одним из методов учета воздействия этих факторов на изменение параметров изделий технологической радиосвязи является математическое моделирование реальных технических объектов, процессов их функционирования, контроля и технического обслуживания, а затем – разработка матема-

Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

тических методов исследования этих моделей с целью получения количественных характеристик. Для этого необходимо рассчитать интенсивность внезапных и постепенных отказов, разрегулировки и отказов при ТО. На основании нормативно-технической документации нужно определить временные параметры: t_a , t_p , t_r и t_s – время аварийного ремонта, проверки, регулировки и поиска неисправности соответственно.

В основу моделей положены математическое моделирование процессов старения электронных компонентов различного типа, вероятностное объединение интенсивностей внезапных и постепенных отказов, расчет вероятностей переходов значения k-го технического параметра ($k = \overline{1, L}$) изделия из S_i -го состояния в S_j -е, моделирование зависимостей функционалов готовности $K_\Gamma(\alpha, \beta, T)$ и технического использования $K_{\text{ти}}(\alpha, \beta, T)$ и определение рационального времени между обслуживанием.

В основе моделирования лежит теория цепей Маркова. Теория марковских процессов получила весьма широкое применение, так как процесс функционирования изделий технологической радиосвязи, как правило, сопровождается простейшими потоками отказов и восстановлений. Экспоненциальное распределение времени наработки на отказ и времени восстановления работоспособности – необходимое условие для марковского процесса [1, 2].

Рассмотрим модель, которая не учитывает влияния ошибок диагностирования.

Изделия технологической радиосвязи могут находиться в следующих состояниях: S_0 – исправное состояние; S_1 – состояние разрегулировки; S_2 – состояние явного отказа; S_{TO} – состояние технического обслуживания исправной системы; $S_{1\text{TO}}$ – состояние ТО разрегулированной системы. Граф состояний такой системы представлен на рисунке 1.

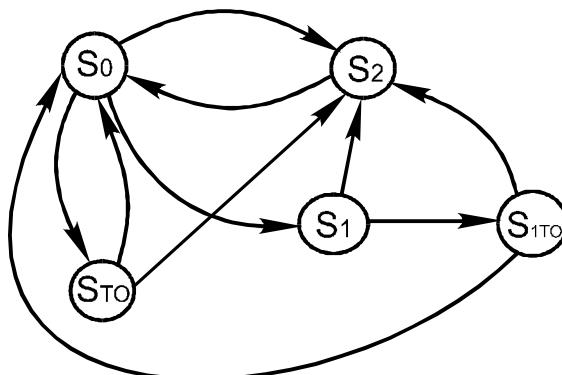


Рисунок 1 – Граф состояний модели, не учитывающей ошибки диагностирования

Составим матрицу переходных вероятностей системы, которая будет иметь вид:

$$P = \begin{vmatrix} 0 & [1 - F_{02}(T)] F_{01}(T) & F_{02}(T) & [1 - F_{02}(T)][1 - F_{01}(T)] & 0 \\ 0 & 0 & F_{12}(T) & 0 & 1 - F_{12}(T) \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 - F_{\text{TO}}(t_p) & 0 & F_{\text{TO}}(t_p) & 0 & 0 \\ 1 - F_{\text{TO}}(t_p) & 0 & F_{\text{TO}}(t_p) & 0 & 0 \end{vmatrix}. \quad (1)$$

Запишем матрицу-строку финальных вероятностей:

$$\pi = |\pi_0(T), \pi_1(T), \pi_2(T), \pi_{\text{TO}}(T), \pi_{1\text{TO}}(T)|. \quad (2)$$

Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

Определим финальные вероятности нахождения системы в S_i -х состояниях. Для этого умножим матрицу-строку финальных вероятностей π на матрицу переходных вероятностей P . При этом должно выполняться следующее условие:

$$\begin{cases} \pi = \pi P, \\ \sum \pi_i = 1. \end{cases} \quad (3)$$

В результате умножения матриц получена система уравнений:

$$\begin{cases} \pi_0(T) = \pi_2(T) + [1 - F_{TO}(t_p)] \pi_{TO}(T) + [1 - F_{TO}(t_p)] \pi_{ITO}(T); \\ \pi_1(T) = [1 - F_{02}(T)] F_{01}(T) \pi_0(T); \\ \pi_2(T) = F_{02}(T) \pi_0(T) + F_{12}(T) \pi_1(T) + F_{TO}(t_p) \pi_{TO}(T) + F_{TO}(t_p) \pi_{ITO}(T); \\ \pi_{TO}(T) = [1 - F_{02}(T)] [1 - F_{01}(T)] \pi_0(T); \\ \pi_{ITO}(T) = [1 - F_{12}(T)] \pi_1(T); \\ \pi_0(T) + \pi_1(T) + \pi_2(T) + \pi_{TO}(T) + \pi_{ITO}(T) = 1. \end{cases} \quad (4)$$

Решая систему уравнений (4), можно получить выражения для финальных вероятностей.

Далее необходимо определить истинное ($\omega_i(T)$) и наблюдаемое ($v_i(T)$) время нахождения системы в рассматриваемых состояниях. Истинное время определяем для работоспособных состояний по формуле:

$$\omega_i(T) = \sum_j p_{ij} \int_0^T \tau_{ij} dF_{ij}(\tau_{ij}), \quad (5)$$

где p_{ij} – вероятность перехода из рассматриваемого состояния;

τ_{ij} – время пребывания системы в этом состоянии;

$F_{ij}(\tau)$ – функция распределения для одного шага процесса.

В данном случае работоспособными являются состояния S_0 и S_1 . Истинное время нахождения в этих состояниях равно средней наработке за период длиной T . Определим $\omega_0(T)$ в соответствии с уравнением (5):

$$\omega_0(T) = p_{01} \int_0^T \tau_{01} dF_{01}(\tau_{01}) + p_{02} \int_0^T \tau_{02} dF_{02}(\tau_{02}) + p_{0TO} \int_0^T \tau_{0TO} dF_{0TO}(\tau_{0TO}). \quad (6)$$

Запишем функции распределения для одного шага процесса:

$$F_{01}(\tau) = \begin{cases} \frac{[1 - F_{02}(\tau)] F_{01}(\tau)}{[1 - F_{02}(T)] F_{01}(T)} & \text{при } \tau < T, \\ 1 & \text{при } \tau \geq T; \end{cases} \quad (7)$$

$$F_{02}(\tau) = \begin{cases} \frac{F_{02}(\tau)}{F_{02}(T)} & \text{при } \tau < T, \\ 1 & \text{при } \tau \geq T; \end{cases} \quad (8)$$

$$F_{TO}(\tau) = \begin{cases} 0 & \text{при } \tau < T, \\ 1 & \text{при } \tau \geq T. \end{cases} \quad (9)$$

Подставим полученные функции распределения для одного шага процесса в формулу (6) и получим выражение:

$$\begin{aligned}\omega_0(T) = & \left[1 - F_{02}(T)\right] F_{01}(T) \int_0^T \tau d\left[\frac{\left[1 - F_{02}(\tau)\right] F_{01}(\tau)}{\left[1 - F_{02}(\tau)\right] F_{01}(\tau)}\right] + F_{02}(T) \int_0^T \tau d\left[\frac{F_{02}(\tau)}{F_{02}(T)}\right] + \\ & + \left[1 - F_{02}(T)\right] \left[1 - F_{01}(T)\right] T.\end{aligned}\quad (10)$$

Преобразуем выражение (9):

$$\omega_0(T) = \int_0^T \tau d\left[1 - F_{02}(\tau)\right] F_{01}(\tau) + \int_0^T \tau dF_{02}(\tau) + \left[1 - F_{02}(T)\right] \left[1 - F_{01}(T)\right] T. \quad (11)$$

Выражение $\int_0^T \tau dF(\tau)$ является интегралом Стильеса. Взять этот интеграл можно путем интегрирования по частям:

$$\begin{aligned}\omega_0(T) = & \left[1 - F_{02}(T)\right] F_{01}(T) T - \int_0^T \left[1 - F_{02}(\tau)\right] F_{01}(\tau) d\tau + \\ & + F_{02}(T) T - \int_0^T F_{02}(\tau) d\tau + \left[1 - F_{02}(T)\right] \left[1 - F_{01}(T)\right] T.\end{aligned}\quad (12)$$

После преобразований выражение $\omega_0(T)$ примет вид:

$$\omega_0(T) = \int_0^T \left[\left[1 - F_{02}(T)\right] \left[1 - F_{01}(T)\right] \right] d\tau. \quad (13)$$

Истинное время нахождения в состоянии S_1

$$\omega_1(T) = \int_0^T \left[1 - F_{12}(\tau)\right] d\tau. \quad (14)$$

Определим наблюдаемое время нахождения системы во всех состояниях. Отличие истинного и наблюдаемого времени заключается в том, что истинное время описывает только работоспособные состояния. Наблюдаемое время обусловлено наличием ошибок диагностирования и определяется для всех состояний по формуле:

$$v_i(T) = \sum_j P_{ij} \int_0^T \tau_{ij} dF_{ij}(\tau_{ij}). \quad (15)$$

Для рассматриваемой модели значения истинного и наблюдаемого времени нахождения в состояниях S_0 , и S_1 будут равными, так как в этой модели отсутствуют ошибки диагностирования:

$$v_0(T) = \omega_0(T); \quad (16)$$

$$v_1(T) = \omega_1(T). \quad (17)$$

В состоянии S_2 наблюдаемое время будет складываться из времени проверки (t_p), времени поиска неисправности (t_s) и времени аварийного ремонта (t_a):

$$v_2(T) = t_p + t_s + t_a. \quad (18)$$

Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

Наблюдаемое время нахождения в состоянии S_{TO}

$$v_{TO}(T) = \int_0^{t_p} [1 - F_{TO}(\tau)] d\tau. \quad (19)$$

Наблюдаемое время нахождения в состоянии S_{ITO}

$$v_{ITO}(T) = \int_0^{t_p + t_r} [1 - F_{TO}(\tau)] d\tau. \quad (20)$$

Отличие $v_{TO}(T)$ от $v_{ITO}(T)$ состоит в том, что при обслуживании разрегулированного изделия его приходится регулировать, поэтому в уравнении (19) добавилось время t_r .

Для определения оптимальной и допустимой периодичности ТО воспользуемся функционалами готовности $K_\Gamma(T)$ и технического использования $K_{TI}(T)$. При вычислении функционалов используются финальные вероятности, а также истинное и наблюдаемое время нахождения системы в соответствующих состояниях. Формулы для расчета функционалов $K_\Gamma(T)$ и $K_{TI}(T)$ имеют вид:

$$K_\Gamma(T) = \frac{\pi_0(T)\omega_0(T) + \pi_1(T)\omega_1(T)}{\pi_0(T)v_0(T) + \pi_1(T)v_1(T) + \pi_2(T)v_2(T)}; \quad (21)$$

$$K_{TI}(T) = \frac{\pi_0(T)\omega_0(T) + \pi_1(T)\omega_1(T)}{\pi_0(T)v_0(T) + \pi_1(T)v_1(T) + \pi_2(T)v_2(T) + \pi_{TO}(T)v_{TO}(T) + \pi_{ITO}(T)v_{ITO}(T)}. \quad (22)$$

На основе изложенного выше составляются модели процессов ТО с помощью инструмента моделирования AnyLogic. AnyLogic был разработан на основе новых идей в области информационных технологий, теории параллельно взаимодействующих процессов и теории гибридных систем. Эти идеи позволяют строить сложные модели, сохраняя контроль над разработкой. AnyLogic оказался очень удобным, мощным и гибким средством для решения широкого круга проблем для систем и процессов самой различной природы. Основной сущностью в модели, разрабатываемой в среде AnyLogic, является активный объект. Основными средствами AnyLogic для построения дискретно-событийных моделей являются таймеры и стейчарты. AnyLogic предлагает пользователю графическую среду для создания моделей на основе простых и ясных визуальных средств с дополнительным использованием всех возможностей современного объектно-ориентированного языка Java. Анимация в AnyLogic дает возможность наглядно представить динамику всей системы в процессе моделирования [3].

Разработанная модель AnyLogic для процессов ТО, не учитывающая влияния ошибок диагностирования, представлена на рисунке 2.

На основе разработанной модели программа строит графики зависимостей $K_\Gamma(T)$ и $K_{TI}(T)$. Проекция точки экстремума ($\max K_{TI}(T)$) на ось времени (T) позволяет определить оптимальную периодичность проверок изделий T_{opt} . Количественное значение допустимой величины коэффициента готовности $K_{\Gamma, доп}$ на большинство эксплуатируемых и вновь проектируемых систем задается или может быть определено по другим количественным параметрам надежности, проекция заданной точки ($K_\Gamma(T)$) на ось времени (T) позволяет определить допустимую периодичность проверок изделий $T_{доп}$. Результат моделирования в AnyLogic представлен на рисунке 3.

Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации

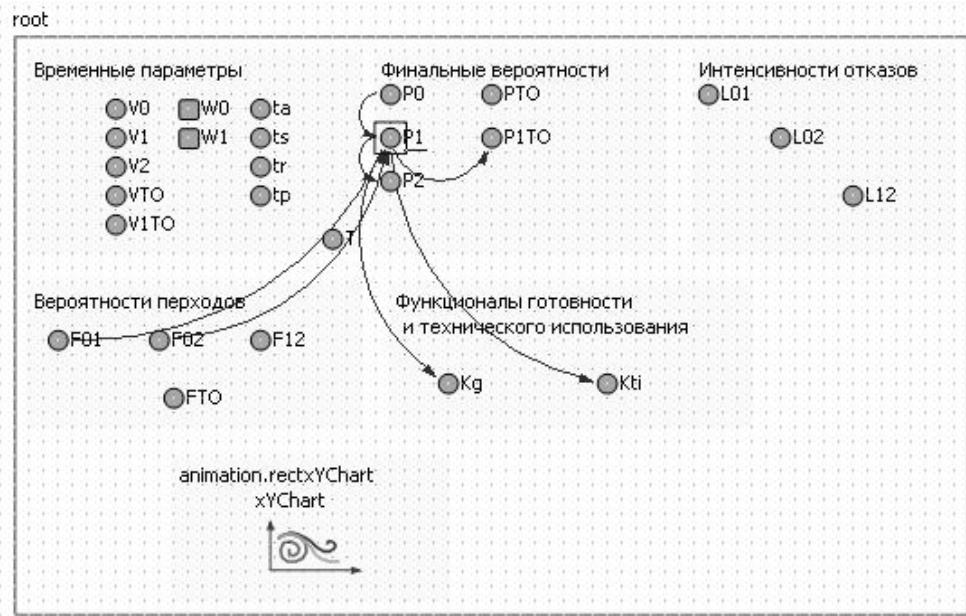


Рисунок 2 – Модель AnyLogic процессов ТО, не учитывающая влияния ошибок диагностирования

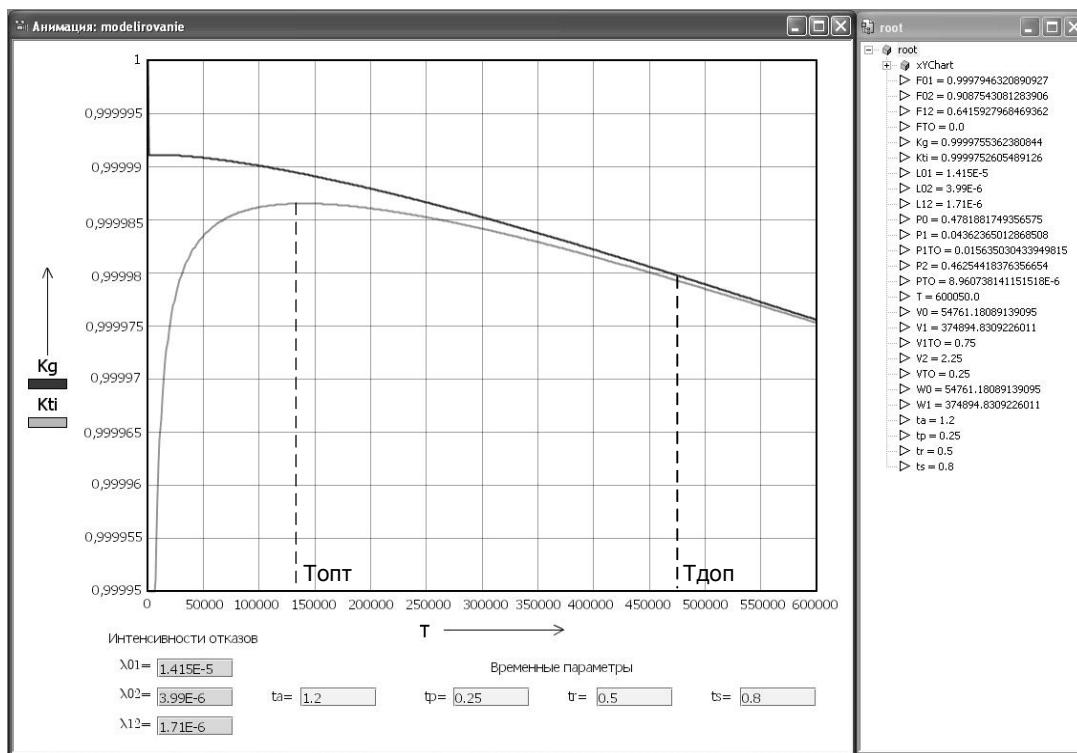


Рисунок 3 – Результат моделирования в AnyLogic процесса ТО, не учитывающего влияния ошибок диагностирования

Рациональное время между проверками ($T_{рац}$) определяется по формуле:

$$T_{\text{опт}} \leq T_{\text{рац}} \leq T_{\text{доп}}. \quad (23)$$

Применение выполненной модели возможно на этапах разработки и проектирования изделий технологической радиосвязи для обеспечения высоких показателей надежности и эффективности.

Список литературы

1. Тутубалин, В. Н. Теория вероятностей и случайных процессов [Текст] / В. Н. Тутубалин / МГУ. – М., 1992. – 400 с.
2. Держо, Г. Г. Организация технического обслуживания электронных устройств на железнодорожном транспорте [Текст]: Учебное пособие / Г. Г. Держо / Омский ин-т инж. ж.-д. трансп. – Омск, 1993. – 47 с.
3. Карпов, Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Текст] / Ю. Г. Карпов. – СПб: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.

УДК 351.86:656.2

Б. В. Поздеев

ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАЩИТЫ КРУПНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ

Крупные железнодорожные узлы являются важными государственными стратегическими объектами страны, защита которых направлена на максимальное снижение прогнозируемых людских и экономических потерь в военное время, а также при возникновении различного рода чрезвычайных ситуаций в мирное время. Предложены организационные и инженерно-технические мероприятия по повышению степени устойчивости защиты крупных железнодорожных узлов, приведены рекомендации по направлению опытных исследований вопросов изучения возможных аварийных ситуаций, их влияния на степень защищенности объекта и их инженерно-технические решения.

Мегаполис представляет собой крупное сосредоточение большого числа промышленных предприятий, учреждений, зданий, сооружений, складов, коммуникаций, дорог, скопление большого количества людей, материальных и культурных ценностей и т. д. Возникновение техногенной, природной катастрофы или военных действий может привести к невосполнимым людским и материальным потерям, моральному ущербу. С целью исключения или максимального уменьшения таких потерь необходимо заблаговременно осуществлять прогноз (анализ, моделирование) всевозможных критических ситуаций для конкретных условий (место, время и условия) и предусматривать заблаговременные мероприятия, направленные на максимальное снижение возможных человеческих и экономических потерь.

В системе мегаполиса, как и в системе небольших городов страны, железнодорожная транспортная артерия является одним из важнейших стратегических государственных объектов, обеспечивающих бесперебойное, круглогодичное передвижение больших масс людей и перемещение различного рода и назначения грузов по всей территории страны.

Даже малейшее нарушение ритма работы железнодорожных объектов может привести к серьезным сбоям перемещения войск и военных грузов, при перевозке людей, горюче-смазочных материалов (ГСМ), при поставке сырья предприятиям, товаров, строительных и других материалов, продуктов питания и, соответственно, может повлиять на работу всех отраслей промышленности страны как в мирное, так и в военное время. Поэтому обеспечение необходимой устойчивости железнодорожного транспорта и его объектов является важнейшей задачей в условиях военного времени и чрезвычайных ситуаций (ЧС) и направлено на обеспечение бесперебойных перевозок в заданных объемах, а в случаях нарушения перевозочного процесса – на восстановление его в короткие сроки. В настоящее время на общем фоне значительного снижения объемов перевозок на авиавоздушном и водном (морском) видах транспорта, автотранспорте, железная дорога приобретает все большую популярность, стремительное развитие и востребованность.

Любой железнодорожный узел представляет собой сложный многофункциональный и многогранный инженерно-экономический комплекс и требует к себе постоянного внимания, развития и совершенствования. Возросшие объемы производства, транспортировки, хране-

Путь и искусственные сооружения

ния, а в некоторых случаях и нецелевого использования опасных (вредных) веществ, материалов и их изделий, взрыво- и пожароопасных и других веществ налагаются особые требования на обеспечение высокой степени защиты железнодорожного узла. Руководство таким комплексом обязывает руководителя любого ранга и участка дороги быть готовым к немедленной оценке сложившейся ситуации, принятию экстренных и последующих решений и к практическим действиям в неадекватных чрезвычайных ситуациях, которые могут возникнуть даже независимо от уже заблаговременно предусмотренных (спрогнозированных) и выполненных всех организационных, инженерно-технических и технологических мероприятий на объекте в целом.

По существующей статистике произошедших чрезвычайных ситуаций за многие годы функционирования железной дороги можно спрогнозировать наиболее *общие* вероятностные случаи, которые могут иметь место на железнодорожном узле:

- при ведении военных действий (широкомасштабные войны, локальные конфликты, террористические акты);
- перевозке военной техники и военного имущества, боеприпасов;
- перевозке, хранении, работе со взрыво- и пожароопасными грузами;
- перевозке ядерных компонентов или отходов ядерного топлива;
- перевозке, хранении, работе с нефтепродуктами;
- перевозке вредных химических, бактериологических, биологических и других токсичных видов продукции или их компонентов;
- складировании и хранении опасных грузов;
- изношенности технического парка железнодорожной техники;
- недостатках в профессиональной подготовке специалистов железнодорожного транспорта;
- физиологических и психологических нагрузках отдельных категорий специальстов;
- сбоях в работе автоматических предупредительных защитных систем;
- несанкционированных противозаконных действиях на территории железнодорожного узла и т. п.

Все эти и другие вероятностные случаи можно подразделить на произошедшие чрезвычайные ситуации, функционально зависящие от природного, техногенного и человеческого факторов.

Принимая во внимание сказанное выше, можно выделить ряд *проблемных вопросов*, затрагивающих, главным образом, природный и техногенный факторы чрезвычайных ситуаций и подлежащих детальному их исследованию по обеспечению достаточной степени защиты железнодорожных узлов.

Защита (устойчивость) железнодорожного узла как цельного организма, обеспечение условий его бесперебойного функционирования как в условиях чрезвычайных ситуаций, так и в угрожаемый период военного времени *достигается*

– *дублированием* наиболее важных или отдельных элементов функционирования железнодорожного узла (обоснованной реконструкцией и расширением действующих объектов железнодорожного узла, устройством дополнительных путей для рассредоточения стоянок локомотивов, объектов энергетики, связи и т. д.), размещаемых в защитных, заблаговременно возведенных сооружениях (для органов управления различных уровней объекта – узла, дизельных электростанций, узлов связи, медицинских пунктов, складов горюче-смазочных материалов, комплектующих изделий, продуктов питания и т. п.) для обеспечения бесперебойной работы узла во всех сложившихся ситуациях. Железнодорожный узел, состоящий из n числа объектов, обеспечивающих его бесперебойную работу, составляет надежность каждого объекта p . Надежность же всего узла обеспечивается дублированием из n такого же числа объектов. Тогда обеспечение устойчивости (степени защиты) всей системы узла составит:

при дублировании каждого объекта –

$$P = \left[1 - (1 - p)^2 \right]^n; \quad (1)$$

всего железнодорожного узла –

$$P = 1 - (1 - p^n)^2. \quad (2)$$

Вероятность повышения защиты узла как по отдельным объектам, так и в целом при дублировании может составлять от 0,7 до 0,9 [1];

– *распределением* наиболее ответственных объектов с целью исключения их одновременного поражения (полного или частичного разрушения) в зависимости от расчетного случая воздействия или при сочетания нескольких поражающих факторов:

$$L_{\text{безоп}} \geq 2R_{\text{разр}}, \quad (3)$$

где $L_{\text{безоп}}$ – безопасное расстояние между ответственными объектами, м;

$R_{\text{разр}}$ – радиус разрушения от заданного средства (источника) поражения, м [8];

– принимая во внимание, что элементы (объекты) железнодорожного узла являются стационарными, представляется необходимым и важным исследование вопроса о *разработке и создании* моноблочных мобильных защитных сооружений различного типа и назначения или создание комплекта унифицированных защитных сооружений [3] для нужд ОАО «РЖД», применяемых в случаях массовых разрушений при военных действиях или при чрезвычайных ситуациях, а также имеющих место их применения в повседневной технологической схеме работы объекта. Основные требования, предъявляемые к таким сооружениям:

- 1) доставка к месту их возведения любым видом транспорта;
- 2) простота конструкции в сборке, перевозке и эксплуатации;
- 3) компактность, удобство в эксплуатации;
- 4) минимум средств механизации при возведении (извлечении) сооружений;
- 5) необходимая степень защиты;
- 6) быстрота возведения и извлечения;
- 7) многократность применения;

8) унификация элементов внутреннего оборудования и т. п. или замена защитных стационарных сооружений объекта – узла – в случаях их разрушений или невозможности их временного применения;

– *возведением* защитных сооружений различного назначения из подручных, местных и строительных материалов. В первую очередь с использованием пришедшего в негодность парка железнодорожной техники и имущества (позволяет вести разработки конструкций типовых защитных сооружений многопрофильного и многократного применения из контейнеров, вагонов, корпусов локомотивов, цистерн, емкостей различных объемов, отработанных материалов при строительстве дорог, путевых искусственных сооружений и др.); *разработкой* сооружений податливой конструкции, обеспечивающих высокую несущую способность (работка за пределом прочности материала конструкций) от действия динамических нагрузок [3];

– *проведением* ряда организационных и инженерно-технических мероприятий по обеспечению защиты большого количества людей, скапливающегося на самих железнодорожных станциях, и обслуживающего весь объект (железнодорожный узел) [5] персонала путем приспособления уже имеющихся сооружений (подземные пешеходные переходы, станции метро, тоннели, подвалы, гаражи, коммуникации и т. п.), разработкой под конкретные сооружения защитных конструкций основных и запасных входов, аварийных выходов при различных условиях прогнозируемых чрезвычайных ситуаций или для условий военного времени [4];

Путь и искусственные сооружения

– разработкой технических приемов (модификация существующих и разработка новых) и способов защиты для подвижных и стационарных объектов железнодорожного транспорта, узлов, приборов, деталей, механизмов, ценного и уникального оборудования в условиях воздействия различных видов нагрузений, таких как:

1) взрыв – волновая динамическая и осколочная нагрузка (от воздействия фрагментов осколков разрушений на объекты, технологическое оборудование, аппаратуру и т. д.) – опыты на стендах с ударным бойком, платформа с закрепленной аппаратурой, оборудованием, ударная труба, аэродинамическая труба, взрывная камера;

2) удар – те же стенды, что и при взрыве;

3) вибрация – виброплатформа, вибростенд;

4) электромагнитный импульс (ЭМИ);

5) тепловая нагрузка (пожар, горение, тление, детонация и т. д.) – теплокамера, труба;

6) зараженность местности, отдельных объектов и в целом железнодорожного узла;

7) опрокидывание, столкновение, сход с путей, обрыв питающих источников энергии и другие различные комплексные нагрузления (сочетания) – стенд-платформа с одиночным или комплексным нагрузлениями и др.

На основе поставленных задач – создание универсального или нескольких различных по назначению стендов, разработка методик для изучения поведения приборов, механизмов, узлов, деталей, отдельных специально защищенных рабочих мест или помещений (защитных блоков) в условиях различных нагрузений с целью проведения анализа, выводов по исследуемым вопросам, разработкой практических рекомендаций, внедрению в производство;

– исследованием состояния существующих зданий и сооружений [6, 7] железнодорожного узла (отдельных его объектов) на сейсмо- и взрывобезопасность, особенно в проблемных геологических районах (где имеет место зависимость от характера состояния слагающих пород, а также от нагрузок, формирующихся при возможных техногенных взрывах в виде сейсмических волн различной мощности, и от конструктивных особенностей зданий и сооружений (критерий оценки зависит от отношения T/T_0 (T – период колебания грунта; T_0 – период собственных колебаний зданий и сооружений));

– на базе уже существующих конструкций и выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработка взрывобезопасных конструкций вагонов, цистерн, емкостей с легковоспламеняющейся жидкостью (ЛВЖ), предназначенных для перевозки взрывчатых веществ (ВВ) и ЛВЖ (полностью или частично энергопоглощающие экраны, межвагонные и вагонные демперные конструкции для исключения передачи детонации, использование кумулятивного эффекта конструкции вагона, водяные, эмульсионные, пенные и другие технические способы (приспособления) для гашения детонационного процесса, горения взрывчатых веществ, ЛВЖ и т. п.);

– заблаговременной подготовкой и складированием различных материалов (местных, подручных, строительных) и инструментов, предназначенных для массового возведения защитных сооружений от простейшего вида (щель открытая или перекрытая) до сооружений с коллективными условиями защиты, с определением мест их возведения (карточка на сооружение, глубина посадки, особенности возведения), с созданием условий для кратковременного или длительного пребывания людей, с необходимыми запасами жизнеобеспечения. С этой целью – выработка практических рекомендаций, разработка методик по обеспечению необходимой степени защиты отдельных объектов железнодорожного узла и самого узла в целом. Отработкой практических занятий с обслуживающим персоналом действий по возведению простейших укрытий (сооружений) и их эксплуатацией в чрезвычайных ситуациях;

– обеспечением (созданием) необходимых условий безопасных перевозки, хранения, погрузки (разгрузки) взрыво-, пожароопасных, химических, биологических, бактериологических и других опасных грузов, находящихся на территории железнодорожного узла, разработкой комплекса организационно-технических мероприятий по созданию и обеспечению надежной защиты:

Путь и искусственные сооружения

- 1) технологические защитные сооружения;
- 2) защитные «коzyрьки» и тюфяки;
- 3) податливые разрушаемые (или частично разрушаемые) конструкции, инженерно-технические приспособления для локализации разрушительных эффектов взрывов или пожаров;
- 4) «разрыв» состава цистерн с ЛВЖ (автоматические размыкатели, пиропатроны, механические или тепловые контролеры и др.);
- 5) аварийный сброс топлива через нижние люки (створки). Новые конструктивные решения по емкостям, предназначенным для перевозки ЛВЖ (цель – обеспечение максимального снижения поражающих факторов при возникновении ЧС);
- 6) создание аэродинамических внешних защитных профилей (обтекаемая форма при волновой нагрузке);
- 7) максимальное использование защитных и маскирующих свойств рельефа местности с учетом «розы» ветров;
- 8) обваловка (устройство насыпи);
- 9) защитное экранирование (от индивидуального объекта до коллективного);
- 10) создание защитных подвижных «коридоров» с энергопоглощающими (демпфирующими) материалами;
- 11) использование технических средств пенообразования – завесы плюс водные завесы (эмulsionи), слои однородной и неоднородной моно- и полидисперсной газовзвесей для гашения детонации взрывчатого вещества, встречные микровзрывы с гашением волн и другие способы. Эффект снижения скорости детонации и срыв последней может достигать 25 % [6], при этом снижение скорости распространения взрывной волны на небольшом удалении от источника может составлять три раза и более [6]. Выполненные экспериментальные и теоретические исследования могут найти практическое инженерно-техническое применение на отдельных объектах узла при перевозке и работе с ЛВЖ, ВВ и т. п.;
- 12) своевременная предупредительная система автоматической сигнализации;
– разработкой организационных и инженерно-технических мероприятий по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций для конкретных условий.

Список литературы

1. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
2. Baker, W. E. Explosien hazards and evaluation / W. E. Baker, P. A. Cox, P. S. Westine. – Amsterdam-N.Y.-Oxford: Elsevier, 1983. – 798 р.
3. Плата, П. В. Обеспечение населения защитными сооружениями гражданской обороны [Текст] / П. В. Плата. – М.: Деловой экспресс, 2007. – 287 с.
4. СНиП 11-11-77. Защитные сооружения гражданской обороны в подземных горных выработках [Текст] / Госстрой СССР. – М., 1977. – 62 с.
5. Юрпольский, И. И. Гражданская оборона на железнодорожном транспорте [Текст] / И. И. Юрпольский, Г. Т. Ильин, Н. Н. Янченков. – М.: Транспорт, 1987. – 227 с.
6. Фролов, С. М. К вопросу о подавлении детонации завесами и пенами [Текст] / С. М. Фролов, Б. Е. Гельфанд // Физика горения и взрыва. – 1991. – № 6. – С. 116 – 124.
7. Котляревский, В. А. Убежища гражданской обороны. Конструкции и расчет [Текст] / В. А. Котляревский, В. И. Ганнушкин. – М.: Стройиздат, 1989. – 606 с.
8. Инструкция по определению радиуса опасной зоны действия ударных воздушных волн взрывов на застекление [Текст] / Союзвзрывпром. – М., 1979. – 20 с.

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

УДК 629.423:629.4.016.1

А. А. Бакланов, В. О. Мельк, А. В. Раздобаров

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ТРАНССИБИРСКОЙ МАГИСТРАЛИ

Рассмотрены результаты научных исследований по повышению эффективности и надежности электроподвижного состава на Транссибирской магистрали.

Транссибирская магистраль пересекает практически всю территорию страны от западной до восточной границы и составляет основу международного транспортного коридора Т7. Большая ее часть (свыше 6000 км) электрифицирована на переменном токе и проходит в регионах с суровыми климатом и трудным профилем пути. В этих условиях повышение эксплуатационной эффективности и надежности электроподвижного состава, обеспечение научно обоснованной организации его работы и безопасности движения поездов приобретают важнейшее значение.

Научно-техническое содружество кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПСа с локомотивным хозяйством железных дорог Транссибирской магистрали имеет давние и прочные традиции. В последние десятилетия научные разработки кафедры связаны с повышением энергетической эффективности и надежности электровозов, оптимизацией тягового обеспечения поездов повышенной массы и длины, совершенствованием технологического оборудования для технического обслуживания и текущего ремонта электроподвижного состава.

Еще в 60-е – 70-е гг. доперестроичного периода научными сотрудниками кафедры были проведены исследования по сокращению затрат энергии при вождении легковесных поездов. Из эксплуатации известно, что на тягу легковесных поездов, особенно на равнинном профиле пути, затрачивается значительное количество электроэнергии. Расчеты и опыты показали, что с целью сокращения энергозатрат таких поездов после разгона для поддержания установленной скорости движения можно отключать часть тяговых двигателей электровозов. Сотрудниками кафедры были разработаны электрические схемы для модернизации ста электровозов ВЛ10 в локомотивном депо Москва, а также рекомендации по вождению поездов с отключением части тяговых двигателей. Использование результатов этой работы позволило экономить до 2 – 3 % электроэнергии на тягу поездов.

В эти же годы научными сотрудниками кафедры совместно с ВЭлНИИ были проведены исследования по совершенствованию систем рекуперативного торможения электровозов постоянного тока серии ВЛ10, эксплуатируемых на Восточно-Сибирской, Западно-Сибирской, Южно-Уральской и Куйбышевской железных дорогах. По результатам этих работ было предложено усовершенствовать электрическую схему электровозов ВЛ10 и расширить зону рабочих скоростей движения в режиме рекуперативного торможения на сериес-параллельном соединении тяговых двигателей. В дальнейшем все электровозы серий ВЛ10 и ВЛ11 были выпущены и эксплуатируются в настоящее время с такой схемой, позволившей значительно повысить эффективность рекуперации и увеличить возврат электроэнергии, особенно на участках с перевалистым и горным профилем пути.

В 80-е – 90-е гг. научными сотрудниками кафедры совместно с ВЭлНИИ и ВНИИЖТом выполнены обширные исследования систем рекуперативного торможения грузовых электровозов переменного тока серий ВЛ80Р и ВЛ85, эксплуатируемых на Красноярской, Восточно-Сибирской и Байкало-Амурской железных дорогах. По результатам этих исследований были разработаны рекомендации и мероприятия по совершенствованию систем рекуперативного торможения, реализация которых позволила повысить надежность и обеспечить устойчивую работу электровозов ВЛ80Р и ВЛ85 в режиме рекуперативного торможения, особенно в неблагоприятных метеорологических условиях, исключить самопроизвольное открытие тири-

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

сторов выпрямительно-инверторных преобразователей и аварийные броски токов в силовых цепях электровозов.

По предложению ОмИИТа (ОмГУПСа) была модернизирована система управления рекуперативным торможением электровозов ВЛ80Р с целью возможности управления режимом рекуперации одной рукояткой контроллера машиниста. Это позволило значительно облегчить управление режимом рекуперативного торможения, повысить устойчивость работы электровозов и увеличить возврат электроэнергии на 2 – 3 %.

Сегодня рекуперативное торможение приобретает особую актуальность в связи с повышением массы и скорости движения поездов. Это обусловлено прежде всего тем, что по сравнению с пневматическим рекуперативное торможение имеет следующие преимущества: высокую плавность движения поезда; значительно меньшие продольно-динамические силы; меньшую вероятность обрыва автосцепных устройств и схода вагонов, т. е. более высокую безопасность движения; сокращение времени движения на спусках за счет поддержания более высокой скорости; экономию тормозных колодок и электрической энергии.

Наибольший эффект рекуперативное торможение дает при вождении тяжелых грузовых поездов, особенно повышенной массы – 6000 т и более, при этом его наиболее целесообразно использовать вместо пневматического для поддержания установившейся скорости движения на спусках, близкой к допустимой скорости. Основные условия правильного и безопасного применения электрического торможения заключаются в том, чтобы не превысить максимальную тормозную силу электровоза по условиям выжимания вагонов из состава и по условиям сцепления колес электровоза с рельсами с целью предотвращения юза и образования так называемых ползунов на поверхностях катания колес.

Согласно нормативам тяги поездов при электрическом торможении в голове поезда, состоящего из груженых вагонов, при нагрузке на ось вагона свыше 12 т максимальная тормозная сила электровоза по условиям устойчивости вагонов от выжимания допускается не более 980 кН (100 тс). Максимальная тормозная сила электровоза по условиям сцепления его колес с рельсами в режиме электрического торможения определяется коэффициентом сцепления, который при рекуперативном торможении принимается равным 0,8 от коэффициента сцепления в режиме тяги. Расчеты показывают, что максимальная тормозная сила 12-осного электровоза с грузовыми составами повышенной массы до 10000 т при движении на спусках крутизной до 10 % с установленными скоростями не превышает допустимого значения 980 кН (100 тс). При высоких скоростях требуемая тормозная сила даже несколько снижается из-за увеличения основного сопротивления движению поезда.

Анализ показателей работы Западно-Сибирской, Южно-Уральской, Красноярской и Восточно-Сибирской железных дорог свидетельствует о том, что эффективность рекуперации достаточно высокая, поскольку за счет нее на каждой дороге в год достигается экономия электроэнергии порядка 100 млн кВт·ч и более. Однако в последние годы на дорогах удельный возврат электроэнергии снижается. Основными причинами этого являются увеличение количества электровозов и электропоездов с неработающими схемами рекуперации, отсутствие в ремонтных цехах локомотивных депо запасных частей и комплектующих изделий для наладки систем рекуперации, неукомплектованность штатов работников депо, занимающихся ремонтом и настройкой схем рекуперации, снижение квалификации ремонтного персонала и локомотивных бригад и т. п. Устранение этих причин позволит значительно повысить эффективность рекуперативного торможения и увеличить возврат электроэнергии.

Повышению эффективности рекуперативного торможения способствует автоматизация управления этим режимом, используемая на некоторых эксплуатируемых электровозах и предусмотренная на новых электровозах 2ЭС4К, ЭП1. Целесообразно поставить вопрос перед электровозостроителями об оснащения новых пассажирских электровозов постоянного тока ЭП2К автоматизированными системами рекуперативного торможения, учитывая, что на них уже предусмотрено реостатное торможение. Применение рекуперативного торможения электровозов ЭП2К на участках с перевалистым профилем пути, в первую очередь на Куз-

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

басском отделении, позволит возвращать в контактную сеть до 5 – 6 % электроэнергии. Большой эффект от применения рекуперативного торможения достигается в пригородном движении, поэтому все новые электропоезда целесообразно оснащать автоматизированными системами рекуперации.

С целью повышения эффективности рекуперативного торможения необходимо продолжать научные исследования, направленные на повышение экономичности и надежности систем рекуперации, полное использование возвращаемой энергии, расширение полигона применения рекуперации и т. п.

В 90-е гг. возник острый дефицит пассажирских электровозов переменного тока, поскольку нечего было заменить выработавшие свой ресурс электровозы ВЛ60П/К. На основе проведенных сотрудниками кафедры исследований и найденных технических решений локомотивные депо Карасук и Алтайская Западно-Сибирской железной дороги первыми модернизировали грузовые электровозы ВЛ80Т, ВЛ80С без дорогостоящей перемотки силовых трансформаторов для вождения пассажирских поездов с электроотоплением вагонов на среднесибирском ходу. Одновременно такую же модернизацию электровозов ВЛ80К, ВЛ80Т, ВЛ80С, ВЛ80Р проводили в локомотивных депо Нижнеудинск, Иркутск, Тайшет и Улан-Удэ Восточно-Сибирской, Чита Забайкальской, Карталы Южно-Уральской и Боготол Красноярской железных дорог. Следует особо отметить, что этот опыт очень пригодился в 1995 г. при переводе с постоянного на переменный ток участка Зима – Иркутск – Слюдянка Восточно-Сибирской железной дороги, так как позволил в кратчайшие сроки создать необходимый парк пассажирских электровозов переменного тока и обеспечить устойчивое движение пассажирских поездов на данном участке. Проведенная в марте 1995 г. на базе локомотивного депо Карасук сетьевая школа способствовала распространению этого новшества на другие железные дороги. Благодаря простоте и дешевизне модернизации электровозов этот опыт получил широкое распространение на сети электрифицированных железных дорог России и стран СНГ и позволил безболезненно пережить период острого дефицита пассажирских электровозов переменного тока.

На кафедре длительное время проводятся глубокие исследования по повышению массы и скорости движения поездов, снижению расхода электроэнергии на тягу. Увеличение объема перевозок на основных направлениях железных дорог привело к необходимости установления норматива массы грузовых поездов 6000 т длиной 71 условный вагон.

Расчеты и опыты показывают, что для вождения таких поездов на электрифицированных железных дорогах переменного тока Восточной Сибири, имеющих трудный профиль и план пути с лимитирующими подъемами крутизной 10 % на участках с одиночной тягой, требуется как минимум 12-осные электровозы. Несколько перевальных участков на этом полигоне железных дорог с лимитирующими подъемами крутизной 17 – 18 % и более можно преодолевать тяжелым поездам только при помощи двойной тяги и (или) подталкивания. В связи с недостаточным парком 12-осных электровозов переменного тока ВЛ85 возникла острая необходимость объединения 2-секционных электровозов ВЛ80Р в 3-секционные с управлением из крайних кабин одной локомотивной бригадой.

Поставленная задача была в кратчайшие сроки успешно решена научными сотрудниками кафедры и работниками локомотивного депо Боготол Красноярской железной дороги, в результате модернизации 2-секционных электровозов ВЛ80Р получено около 70 3-секционных электровозов 1,5ВЛ80Р для вождения тяжелых грузовых поездов. В дальнейшем сотрудниками кафедры с участием ВНИИЖТа проведены эксплуатационные испытания 3-секционных электровозов 1,5ВЛ80Р с грузовыми поездами повышенной массы на полигоне Мариинск – Карымская длиной 2570 км, охватывающем Красноярскую, Восточно-Сибирскую и Забайкальскую железные дороги. Результаты испытаний показали, что на этом полигоне 3-секционные электровозы 1,5ВЛ80Р способны водить грузовые поезда повышенной массы – 6000 – 6200 т, которая превышает норму массы 5800 т для электровозов ВЛ85.

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

В настоящее время 3-секционные 12-осные электровозы 1,5ВЛ80Р успешно эксплуатируются на полигоне Марийск – Карымская. Доля их перевозочной работы с поездами массой 5800 – 6000 т достигает 30 %. Это позволило снизить удельный расход электроэнергии 3-секционными электровозами ВЛ80Р по сравнению с 2-секционными на 7 – 8 % при нагрузке на ось вагона 21 – 23 т и на 4 – 5 % при нагрузке на ось вагона более 23 т. Положительный опыт модернизации и эксплуатации 3-секционных 12-осных электровозов 1,5ВЛ80Р способствовал ускорению создания и освоения новых магистральных грузовых электровозов переменного тока «Ермак» серии 2ЭС5К, в том числе в 12-основном 3-секционном варианте с бустерной секцией.

В результате теоретических и экспериментальных исследований на кафедре разработан метод энергетического баланса, позволяющий успешно решать различные задачи энергетики тяги поездов, в том числе осуществлять нормирование, анализ и прогнозирование расхода электроэнергии на тягу поездов. Использование этого метода в локомотивных депо позволяет устанавливать научно обоснованные прогрессивные нормы расхода, стимулирующие локомотивные бригады применять рациональные режимы вождения поездов, изыскивать резервы экономии электроэнергии на тягу.

Сотрудники кафедры активно участвуют в опытных поездках тягово-энергетических вагонов-лабораторий (динамометрических вагонов) с грузовыми и пассажирскими поездами, разрабатывают методики и рекомендации по весовым нормам, технологии и режимам вождения поездов повышенной массы и длины. В частности, за последние 10 лет проведены серии опытных поездок с электровозами переменного тока 1,5ВЛ80Р, ВЛ85, ВЛ80ТК, ВЛ80СК и грузовыми поездами повышенной массы (6000 т и более) на полигонах Марийск – Карымская длиной 2570 км и Тайшет – Таксимо длиной 1470 км. На полигоне Инская – Свердловск-Сортировочный длиной 1540 км совместно с ВНИИЖТом проведены испытания с грузовыми поездами массой 12000 т и электровозами ВЛ10, оснащенными интеллектуальными системами автоматизированного вождения поездов с распределенной тягой (ИСАВП-РТ). Проведены также испытания с грузовыми поездами массой 9000 т, оснащенными системой управления тормозами по радиоканалу (СУТП) с использованием блока хвостового вагона (БХВ), позволяющей осуществлять торможение одновременно с головы и хвоста поезда и снижать продольно-динамические силы. Периодически проводятся опытные поездки тягово-энергетических вагонов-лабораторий на основных участках Западно-Сибирской железной дороги. В 2008 – 2009 гг. проведены испытания нового отечественного пассажирского электровоза постоянного тока ЭП2К с поездами повышенной длины из 22 – 23 вагонов и нового грузового электровоза постоянного тока 2ЭС4К с поездами повышенной массы – 6000 т.

Проведенные в свое время маркетинговые исследования показали, что в локомотивных депо очень востребованы современные технологические установки с автоматизированным управлением. Поэтому на кафедре уже давно разрабатываются и поставляются в локомотивные депо и на локомотиворемонтные заводы уникальные автоматизированные испытательные станции тяговых электрических машин, испытательные стенды тяговых электрических аппаратов и узлов механической части электровозов, диагностические комплексы для проверки отдельных узлов и электрических цепей, применение которых способствует повышению качества ремонта и надежности электроподвижного состава.

Выполняемые на кафедре теоретические исследования, анализ порч и отказов оборудования электровозов позволяют разрабатывать рекомендации по повышению их эксплуатационной надежности, оптимизации межремонтных пробегов, локомотиворемонтной базы и т. п. В рамках содружества с предприятиями железных дорог региона сотрудники кафедры выполняют многочисленные работы, связанные с подготовкой технических заключений о причинах порч и отказов оборудования электровозов, дают консультации работникам локомотивных депо, выполняют расчеты по нестандартным и аварийным ситуациям и т. п. Благодаря тесным и постоянным контактам с предприятиями локомотивного хозяйства и соответствующими службами дорог кафедра оперативно реагирует на возникающие проблемы и по-

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

могает их решать. В частности, сотрудники кафедры помогают работникам локомотивных депо осваивать новый и модернизированный электроподвижной состав: пассажирские электровозы ЭП1 и ЭП2К, грузовые электровозы ВЛ10К и 2ЭС4К, электропоезда ЭД4, ЭД9 и др.

Научными сотрудниками кафедры совместно со специалистами локомотивного депо Алтайская при участии студентов-дипломников впервые на пространстве железных дорог России и стран СНГ создана электромотриса двойного питания, способная работать на электрифицированных участках постоянного и переменного тока. Электромотриса успешно прошла обкатку на основных направлениях Западно-Сибирской железной дороги и получила высокую оценку руководства дороги.

Для модернизируемых и вновь выпускаемых электровозов на кафедре разрабатываются принципиально новые микропроцессорные системы управления, позволяющие значительно сократить капитальные затраты на их изготовление, повысить надежность электровозов. Разрабатываются также перспективные инновационные проекты, в частности, проект, связанный с применением так называемого «гибкого колеса» на высокоскоростном подвижном составе.

Следует подчеркнуть, что все перечисленные научные разработки кафедры востребованы не только на Транссибирской магистрали, но и на других железных дорогах России и стран СНГ.

За многие десятилетия кафедра подготовила тысячи дипломированных специалистов, поэтому в линейных предприятиях, в отделениях и в управлении дорог региона практически все руководители и инженерно-технические работники локомотивного хозяйства являются выпускниками кафедры. Профессорско-преподавательский состав кафедры также активно участвует в повышении квалификации работников железных дорог. Только в 2008 г. по учебным программам кафедры повысили квалификацию около 300 работников локомотивного хозяйства. Со своей стороны железные дороги региона, особенно Западно-Сибирская, оказывают кафедре действенную помощь в обновлении материальной базы, оснащении учебных лабораторий современным оборудованием, натурными узлами и тренажерами электровозов и т. п.

Тесное сотрудничество кафедры с железными дорогами региона способствует подготовке высококвалифицированных специалистов, активному внедрению в производство научных разработок, повышению энергетической эффективности и надежности электроподвижного состава, снижению энергозатрат на тягу поездов и эксплуатационных расходов, а в целом – повышению эффективности перевозочного процесса на Транссибирской магистрали.

УДК 656.212.6.073.22

М. В. Корнеев, С. Ю. Хорунжин

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПЕРЕВОЗОК МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Статья предназначена для организаций и частных лиц, связанных с перевозкой металлопродукции железнодорожным транспортом.

Во время мирового экономического кризиса одной из главных задач, стоящих перед железнодорожным транспортом, является привлечение дополнительных грузопотоков. Для этого необходимо принятие ряда целенаправленных мер, обеспечивающих расширение и повышение качества предлагаемых транспортных услуг, их дифференциация и индивидуализация, экономия времени, затрат ручного труда и ресурсосберегающие технологии.

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

Обострение конкурентной борьбы на рынке транспортных услуг в условиях экономического кризиса и спада перевозок требует внедрения новых форм взаимодействия железнодорожников с отправителями и получателями грузов.

Город Новосибирск является крупным мультимодальным транспортным узлом и занимает ведущие позиции в снабжении металлопрокатом и металлопродукцией потребителей в регионах от Урала до Дальнего Востока, поэтому сокращение затрат, связанных с начальными операциями по транспортировке данной продукции, является актуальной проблемой.

Рассмотрим цепь доставки сортового проката черных металлов до потребителя (рисунок 1).

Данная схема в жизни фактически не работает по следующим причинам:

- заводы-изготовители отпускают продукцию только повагонными отправками;
- потребитель нуждается в определенном наборе продукции, причем по сортаменту не каждый поставщик может обеспечить такой набор ввиду специализации производства;
- такая схема подразумевает наличие большого склада у потребителя продукции.

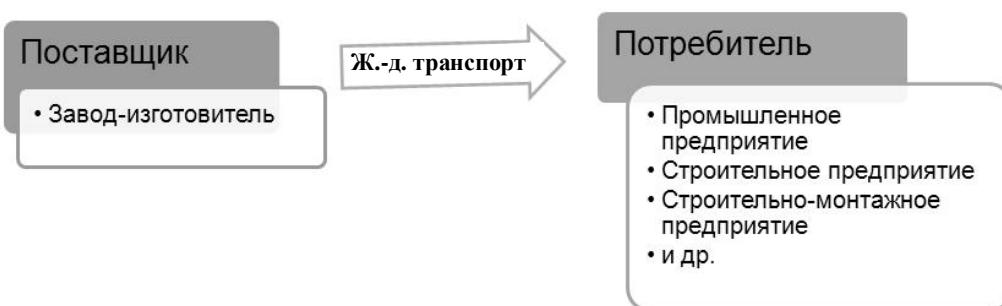


Рисунок 1 – Схема поставки продукции с заводов-изготовителей

Поэтому больше 80 % поставок осуществляются через посредников – металлотрейдеров (рисунок 2).

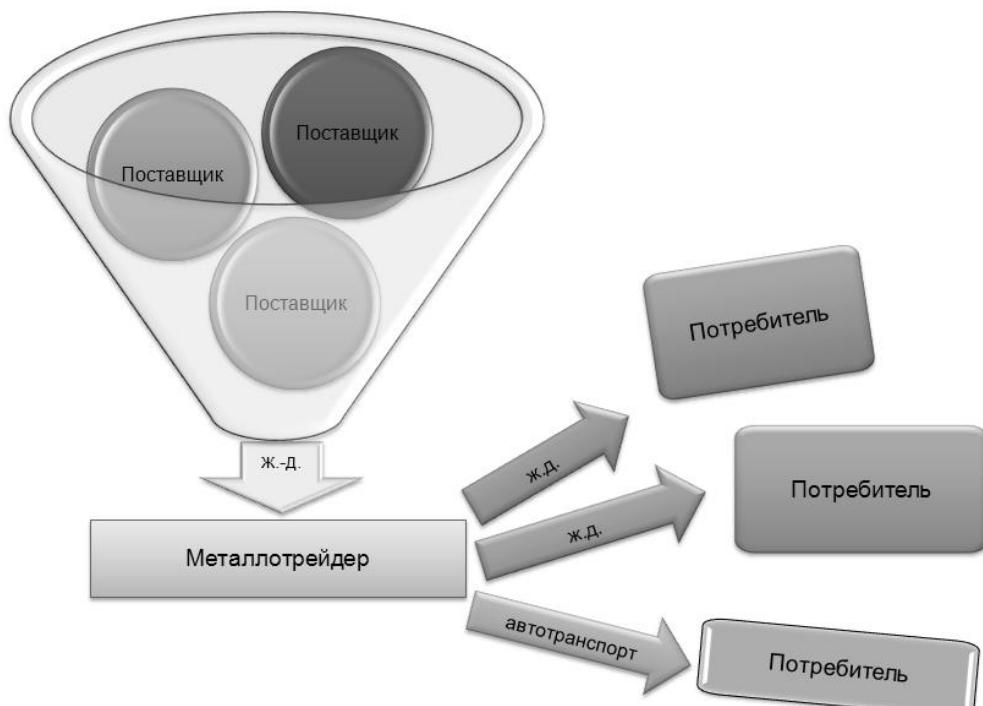


Рисунок 2 – Схема поставки продукции с заводов-изготовителей с участием посредников

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

Анализ данной схемы показал, что наибольшие задержки и необязательные расходы трейдеры несут на стадии комплектования заказов и погрузки продукции. Доставка продукции автомобильным транспортом осуществляется достаточно редко ввиду очевидных причин и только в случаях небольших партий заказа, небольших расстояний перевозки и отсутствия у потребителей прижелезнодорожного склада. Доставка металлопродукции и лома черных металлов по железной дороге отличается меньшей трудоемкостью, но появлением дополнительных денежных затрат в связи с тем, что перевозить их в контейнерах и крытых вагонах невозможно, а перевозка на открытом подвижном составе требует разработки нормативно технической документации согласно правилам перевозки грузов на железнодорожном транспорте.

В настоящее время отгрузка и перевозка металлопродукции и лома черных металлов на открытом подвижном составе осуществляется по главе 3 Технических условий размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах (№ ЦМ-943), утвержденных МПС России 27 мая 2003 г. (далее – ТУ) [1]. В данном документе предусмотрены способы размещения и крепления листового и сортового черного металла, металлопродукции различных видов и профилей и лома черного металла. Отправитель на каждую отправку разрабатывает эскиз погрузки согласно требованиям главы 3 ТУ.

Заказчики, минимизируя собственные издержки, отказываются от большого количества однотипной продукции. Действующие ТУ не предусматривают комбинированную загрузку вагонов различными наименованиями изделий, поэтому формирование заказа приходится производить из различных грузов, для погрузки которых в один вагон требуется разработка новых схем размещения и крепления (например, связки труб квадратного, круглого сечения различной длины; бухты полосовой стали, связки сортового проката, пачки листового проката и т. д.), т. е. способов, не предусмотренных ТУ (далее – НТУ) (рисунок 3). Их отличительная особенность от эскизов – наличие расчетно-пояснительной записи с расчетами надежности размещения и крепления грузов на основании предоставленной в ТУ методики, которая не раз подвергалась критике с точки зрения как правильности, так и заложенных в нее запасов надежности.



Рисунок 3 – Характеристики нормативно-технической документации, разрабатываемой на перевозку грузов

Анализ заказов показал, что лишь 20 % из них подходят под эскиз погрузки и фактически отгружаются «точно в срок». Остальные заказы выполняются с задержками или выполняются с использованием автомобилей (тягачей с прицепами и полуприцепами).

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

Задержка происходит также и по причине того, что заявку на вагон ОАО «РЖД» можно подавать только после согласования способа погрузки, поэтому компании-металлорейдеры предпочитают использовать вагоны других операторов подвижного состава (приватные вагоны).

Для уменьшения срока доставки, а следовательно, и повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта, необходима разработка новой нормативно-технической базы для таких погрузок, а именно Местных технических условий (МТУ) или сетевых технических условий.

Такая разработка имеет следующие преимущества для ОАО «РЖД»:

повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта, привлечение дополнительных объемов работы и увеличение заявок на пользование вагонами «РЖД»;

экономия времени, которое затрачивает персонал «РЖД» при проверке и согласовании способов погрузки;

прием груза к перевозке может осуществлять приемоотдатчик, а не начальник станции (или его заместитель).

Потребитель услуг железнодорожного транспорта также будет иметь свои выгоды:

погрузка продукции со склада, без ожидания разработки и согласования способа погрузки;

ускорение срока и повышение уровня надежности выполнения заказа;

уменьшение расходов на выполнение заказа и транспортной составляющей в цене продукции.

Для утверждения разработанных грузоотправителем МТУ требуется экспериментальная проверка со стороны перевозчика (ОАО «РЖД»).

Экспериментальная проверка заключается в имитации процессов, которые могут повлиять на сохранность перевозки и безопасность движения поездов, чаще всего обходятся рядом маневровых соударений вагонов с разными скоростями.

Утвержденные МТУ имеют срок действия семь лет. В случае отсутствия замечаний по безопасности перевозок и сохранности грузов документ может быть продлен на такой же срок.

Для разработки МТУ необходимо определить характерные способы погрузки, поэтому номенклатуру перевозимых грузов требуется разбить на группы:

- 1) трубы круглые диаметром до 219 мм и профильные, перевозимые в связках;
- 2) трубы большего диаметра (до 530 мм), перевозимые поштучно;
- 3) сортовой прокат (арматура, угол, швеллер, круг, полоса, квадрат, балка) в связках;
- 4) листовой прокат (плоский и рифленый) в пачках;
- 5) проволока и полосовая сталь в бухтах и бунтах.

Такое количество групп дает более 100 сочетаний размещения грузов в вагоне, а если учесть вариации единиц груза по количеству и геометрическим размерам, то просчитать количество получаемых сочетаний без ряда упрощений невозможно.

Одним из основных допущений является исключение из способов размещения одного или нескольких групп грузов без изменения раскладки. Технические условия размещения и крепления должны содержать требования, обеспечивающие безопасность движения поездов, сохранность грузов и вагонов, а также должны быть однозначно понимаемыми.

Разработка МТУ была проведена в Сибирском государственном университете путей сообщения НИЛ «ДЦГР» для одного из крупнейших металлорейдеров Новосибирска. Анализ грузопотоков и моделирование возможных способов размещения и крепления грузов [2] позволили свести данную разработку к семи основным сочетаниям с необходимыми подвариантами.

После проведения экспериментальной проверки (рисунок 4) и опытных перевозок МТУ согласованы с руководством Западно-Сибирской железной дороги и утверждены ее главным инженером.

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

Внедрение МТУ позволило металлотрейдеру оказывать свои услуги на более высоком уровне за счет сокращения срока доставки, транспортных издержек и составляющей в цене продукции.

Экономический эффект от такой разработки составил 1,5 млн р. только за счет сокращения затрат на разработку нормативно-технической документации (эскизов и схем погрузки, не предусмотренных ТУ).



Рисунок 4 – Размещение грузов в железнодорожном полувагоне после экспериментальной проверки

Данное решение может быть интересно не только металлотрейдерам, но и службам логистики заводов-изготовителей как оптимизация собственного производства, ведь посредники удороажают продукцию для потребителей на 30 – 40 %.

Наряду с явным логистическим эффектом данной работы она интересна и подходом к разработке МТУ. Во-первых, отсутствует конкретный способ погрузки, есть лишь принципиальный подход к размещению и креплению грузов. Во-вторых, модульность данного способа, т. е. оперирование сочетаниями групп грузов, а не конкретным перечнем грузов с заданными параметрами. В-третьих, отступление от рекомендуемой методики расчета, предлагаемой ТУ, и ввод в расчет ряда предположений (например, о влияния прогиба единиц груза на взаимное перемещение грузов при воздействии сдвигающих сил), влияющих на результаты исследований.

Работа по совершенствованию условий перевозки металлопродукции и лома черных металлов на открытом подвижном составе продолжается в Дорожном центре совершенствования технологии грузовой и коммерческой работы СГУПСа для других крупных грузоотправителей, что говорит об актуальности данной проблемы.

Список литературы

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах [Текст]. – М.: Юртранс, 2003. – 544 с.
2. Романенко, А. И. Использование программирования для получения рекомендаций по размещению и креплению разнородных грузов в одном вагоне // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: Сб. науч. тр. / Сибирский гос. ун-т путей сообщения (НИИЖТ). – Новосибирск, 2000. – С. 71 – 85.

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

УДК 629.4

В. А. Нехаев, В. А. Николаев, А. Н. Смалев

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НЕОБРЕССОРЕННЫХ МАСС ПО ПУТИ СО СЛУЧАЙНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕРОВНОСТЬЮ РЕЛЬСА

В статье рассматривается движение необressоренных масс экипажа с учетом кинематических свойств пути. Геометрическая неровность рельса принята в виде случайного процесса, спектральная плотность которого зависит от скорости движения. Проведена оценка статистических характеристик вертикальных колебаний колесной пары и сил, возникающих в зоне контакта колеса и рельса.

Уже многие годы для повышения адекватности математической модели динамики экипажа и получения более достоверных результатов в качестве возмущающего внешнего воздействия принимается случайный процесс [1]. Тем не менее и в настоящее время встречается достаточное количество работ, основанных на детерминированном характере протекания процессов. В связи с этим, как показывает практика, нередки случаи, когда результаты расчетов значительно расходятся с данными экспериментов. К тому же, и во многих задачах продольной динамики давление экипажа на путь учитывается как статическая величина, несмотря на то, что его динамическая составляющая весьма существенна.

Для такой колебательной системы, как движущийся железнодорожный экипаж, одним из параметров, описание которого желательно представлять в виде случайного процесса во времени, является геометрическая неровность поверхности катания рельса. Для ее описания предлагается большое количество спектральных плотностей, при этом наиболее простым будет представление неровностей рельса с законом распределения типа «белого» шума. Для моделирования реальных колебательных систем на «белый» шум накладываются некоторые ограничения.

Исследуем движение экипажа по случайной геометрической неровности. Рассмотрим его колебания в продольной вертикальной плоскости. В качестве математической модели возьмем механическую систему с так называемыми 1,5 степенями свободы. Половину степени свободы здесь образует способная колебаться листовая рессора, массой которой можно пренебречь. Эквивалентная расчетная схема такой системы представлена на рисунке 1. В данной схеме рассматривается необressоренное движение колесной пары, поэтому надressорные элементы экипажа обозначены как неподвижные (жестко закреплены). Это сделано на основании возможности разделения движения, т. е. рассмотрения движения колесной пары без учета динамики надressорного строения экипажа [2].

Для выбранной системы составим систему дифференциальных уравнений малых колебаний для двух обобщенных координат: вертикальных колебаний края листовой рессоры и колесной пары. Решим поставленную задачу с помощью метода Лагранжа. Необходимо отыскать все виды механической энергии, присутствующие в системе, а также обобщенные силы для каждой из координат.

Сначала введем обозначения, которые потребуются в расчетах: q – вертикальные колебания края листовой рессоры; $z_{\text{к.п}}$ – вертикальные колебания колесной пары; $z_{\text{п}}$ – вертикальные колебания пути; η – случайная функция геометрической неровности рельса.

В качестве объекта исследования выберем локомотив ВЛ-10. Зададим необходимые для решения задачи параметры системы [3, 4] (в расчете на одну колесную пару): $m_{\text{к.п}} = 0,662$ –

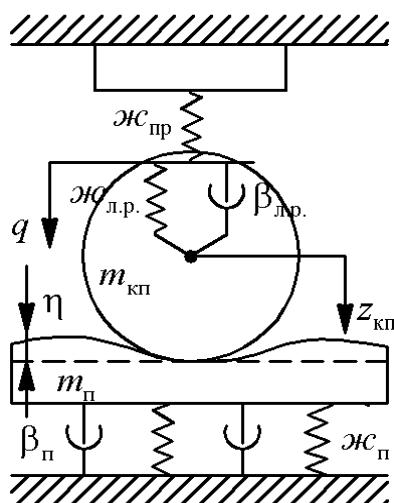


Рисунок 1 – Расчетная схема

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

масса необремененных частей экипажа, тс·с²/м; $m_n = 0,05$ – «приведенная» масса пути, тс·с²/м; $\kappa_{np} = 1120$ – жесткость пружин рессорного комплекта, тс/м; $\kappa_{lp} = 244$ – жесткость листовых рессор, тс/м; $\kappa_n = 70000$ – приведенная жесткость пути, тс/м; $\kappa_b = 200,4$ – суммарная жесткость буксового рессорного комплекта, тс/м; $\beta_n = 23$ – приведенный коэффициент вязкого трения в пути, тс·с/м; $\beta_{lp} = 87,7$ – эквивалентный коэффициент вязкого трения в листовой рессоре, тс·с/м.

Кинетическую энергию экипажа и пути найдем по формулам:

$$\begin{cases} T_s = \frac{1}{2} m_{kn} \dot{z}_{kn}^2; \\ T_n = \frac{1}{2} m_n \dot{z}_n^2. \end{cases} \quad (1)$$

Применяя гипотезу безотрывного движения, получим следующие соотношения для координат и их скоростей:

$$\begin{cases} z_n = z_{kn} - \eta; \\ \dot{z}_n = \dot{z}_{kn} - \dot{\eta}, \end{cases} \quad (2)$$

тогда кинетическую энергию всей системы с учетом систем уравнений (1) и (2) определим так:

$$T = \frac{1}{2} (m_{kn} + m_n) \dot{z}_{kn}^2 - m_n \dot{z}_{kn} \dot{\eta} + \frac{1}{2} m_n \dot{\eta}^2. \quad (3)$$

Потенциальная энергия системы

$$\Pi = \frac{1}{2} (\kappa_{np} + \kappa_{lp}) q^2 + \frac{1}{2} (\kappa_{lp} + \kappa_n) z_{kn}^2 - \kappa_{lp} q z_{kn} - \kappa_n z_{kn} \eta + \frac{1}{2} \kappa_n \eta^2. \quad (4)$$

Диссипативная функция системы имеет вид:

$$\Phi = \frac{1}{2} \beta_{lp} \dot{q}^2 + \frac{1}{2} (\beta_{lp} + \beta_n) \dot{z}_{kn}^2 - \beta_{lp} \dot{q} \dot{z}_{kn} - \beta_n \dot{z}_{kn} \dot{\eta} + \frac{1}{2} \beta_n \dot{\eta}^2. \quad (5)$$

Запишем для системы уравнение Лагранжа 2-го рода в общем виде:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = \sum F_i; \quad q_1 = q, \quad q_2 = z_{kn}. \quad (6)$$

Найдем все слагаемые уравнения по каждой координате и, подставив их в исходное уравнение, получим систему уравнений динамики системы:

$$\begin{cases} \beta_{lp} \dot{q} - \beta_{lp} \dot{z}_{kn} + (\kappa_{np} + \kappa_{lp}) q - \kappa_{lp} z_{kn} = 0; \\ (m_{kn} + m_n) \ddot{z}_{kn} + (\beta_{lp} + \beta_n) \dot{z}_{kn} - \beta_{lp} \dot{q} + (\kappa_{lp} + \kappa_n) z_{kn} - \kappa_{lp} q = m_n \ddot{\eta} + \beta_n \dot{\eta} + \kappa_n \eta. \end{cases} \quad (7)$$

Для нахождения статистических показателей колебательных процессов можно воспользоваться методом Винера-Хинчина [5]. Для того чтобы его применить, необходимо найти передаточные функции для координат системы по возмущению. Определим их, преобразовав систему дифференциальных уравнений (7) по Лапласу при нулевых начальных условиях:

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

$$\begin{cases} \beta_{\text{л.р}} s Q(s) - \beta_{\text{л.р}} s Z_{\text{k.p}}(s) + (\kappa_{\text{нр}} + \kappa_{\text{л.р}}) Q(s) - \kappa_{\text{л.р}} Z_{\text{k.p}}(s) = 0; \\ (m_{\text{k.p}} + m_{\text{н}}) s^2 Z_{\text{k.p}}(s) + (\beta_{\text{л.р}} + \beta_{\text{н}}) s Z_{\text{k.p}}(s) - \beta_{\text{л.р}} s Q(s) + \\ + (\kappa_{\text{л.р}} + \kappa_{\text{н}}) Z_{\text{k.p}}(s) - \kappa_{\text{л.р}} Q(s) = m_{\text{н}} s^2 H(s) + \beta_{\text{н}} s H(s) + \kappa_{\text{н}} H(s). \end{cases} \quad (8)$$

Перейдя в системе (8) по свойству преобразования Лапласа о производной изображения к ускорениям обобщенных координат и возмущения, а затем выражая поочередно в первом уравнении для изображений одну координату через другую и подставляя полученное значение во второе, можно перейти к отношениям, характеризующим искомые передаточные функции:

$$\begin{cases} W_q(s) = \frac{\ddot{Q}(s)}{\ddot{H}(s)} = \frac{B_q(s)}{A(s)}; \\ W_z(s) = \frac{\ddot{Z}_{\text{k.p}}(s)}{\ddot{H}(s)} = \frac{B_z(s)}{A(s)}, \end{cases} \quad (9)$$

где $B_z(s) = b_0 s^3 + b_1 s^2 + b_2 s + b_3$; $B_q(s) = b_0 s^3 + b_1^* s^2 + b_2^* s + b_3^*$; $A(s) = a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3$;

$\ddot{Q}(s)$, $\ddot{Z}(s)$ и $\ddot{H}(s)$ – изображения по Лапласу ускорений вертикальных колебаний колесной пары и случайных геометрических неровностей рельса соответственно.

В числителе и знаменателе каждой дроби в системе (9) присутствуют полиномы 3-й степени. Коэффициенты полиномов вычисляются через известные физические параметры системы и определяются следующими выражениями:

$$\begin{cases} a_0 = (m_{\text{k.p}} + m_{\text{н}}) \beta_{\text{л.р}}; & b_0 = m_{\text{н}} \beta_{\text{л.р}} \\ a_1 = \beta_{\text{н}} \beta_{\text{л.р}} + (m_{\text{k.p}} + m_{\text{н}}) (\kappa_{\text{нр}} + \kappa_{\text{л.р}}); & b_1 = \beta_{\text{л.р}} \beta_{\text{н}} + m_{\text{н}} (\kappa_{\text{нр}} + \kappa_{\text{л.р}}); \\ a_2 = \beta_{\text{л.р}} (\kappa_{\text{нр}} + \kappa_{\text{н}}) + \beta_{\text{н}} (\kappa_{\text{нр}} + \kappa_{\text{л.р}}); & b_1^* = \beta_{\text{л.р}} \beta_{\text{н}} + m_{\text{н}} \kappa_{\text{л.р}}; \\ a_3 = \kappa_{\text{л.р}} \kappa_{\text{нр}} + \kappa_{\text{н}} (\kappa_{\text{нр}} + \kappa_{\text{л.р}}); & b_2 = \beta_{\text{л.р}} \kappa_{\text{н}} + \beta_{\text{н}} (\kappa_{\text{нр}} + \kappa_{\text{л.р}}); \\ & b_2^* = \beta_{\text{л.р}} \kappa_{\text{н}} + \beta_{\text{н}} \kappa_{\text{л.р}}; \\ & b_3 = \kappa_{\text{н}} (\kappa_{\text{нр}} + \kappa_{\text{л.р}}); \\ & b_3^* = \kappa_{\text{н}} \kappa_{\text{л.р}}. \end{cases} \quad (10)$$

Очевидно, что передаточные функции для q и $z_{\text{k.p}}$ отличаются лишь тремя коэффициентами, которые при этом являются попарно достаточно близкими по значению. Далее все расчеты достаточно провести только для одной из обобщенных координат, например, для координаты $z_{\text{k.p}}$, а для второй результат получится простой заменой соответствующих коэффициентов.

Рассчитаем аналитически среднеквадратическое отклонение ускорения подпрыгивания колесной пары. Пользуясь известной формулой Винера-Хинчина, определим спектральную плотность ускорения обобщенной координаты $z_{\text{k.p}}$:

$$S_z(\omega) = |W_z(j\omega)|^2 S_{\dot{h}}(\omega). \quad (11)$$

Средняя величина обобщенной координаты $z_{\text{k.p}}$ равна нулю, следовательно, среднеквадратическое отклонение для подпрыгивания груза

$$\sigma_z^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_z(\omega) d\omega. \quad (12)$$

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

Свойства поверхности катания рельса в формуле (11) характеризуются спектральной плотностью ускорения геометрической неровности рельса, которую примем согласно [6] независимой от частоты и в виде функции скорости экипажа, приведенной на рисунке 2:

$$S_{\ddot{z}}(\omega) = 1,24 \cdot 10^{-6} V^3 = S_0 V^3 = S_0(V). \quad (13)$$

Теперь найдем частотную передаточную функцию системы и преобразуем ее к виду, удобному для вычисления приведенного в формуле (12) интеграла [5].

Частотная передаточная функция системы, присутствующая в формуле (11), определяется выражением:

$$W_z(j\omega) = \frac{b_0(j\omega)^3 + b_1(j\omega)^2 + b_2(j\omega) + b_3}{a_0(j\omega)^3 + a_1(j\omega)^2 + a_2(j\omega) + a_3} = \frac{b_3 - b_1\omega^2 + j(b_2\omega - b_0)}{(a_3 - a_1\omega^2) + j(a_2\omega - a_0\omega^3)}, \quad (14)$$

квадрат ее модуля после преобразований

$$|W_z(j\omega)|^2 = \frac{-b_0^2(j\omega)^6 + (b_1^2 - 2b_0b_2)(j\omega)^4 + (2b_1b_3 - b_2^2)(j\omega)^2 + b_3^2(j\omega)^0}{A(j\omega)A(-j\omega)}. \quad (15)$$

Исследуем ЛАЧХ рассматриваемой механической системы для обеих координат, которая приведена на рисунке 3. Здесь отражены два случая: с учетом и без учета в расчетах «приведенной» массы пути. На представленных графиках видно, что расхождение свойств системы для разных координат наблюдается только при очень малых частотах (утолщенные линии: для $q(t) - 1$ и для $z(t) - 2$). Одновременно с этим значительное расхождение точной характеристики (в случае учета массы пути – тонкие линии 3) и приближенной (в случае пренебрежения ею) наблюдается при частотах, многократно превышающих резонансную, что справедливо для обеих координат. В области резонанса расхождение точной и приближенной кривой является незначительным и заключается в небольшом уменьшении резонансной частоты и сглаживании пика характеристики (при точном расчете).

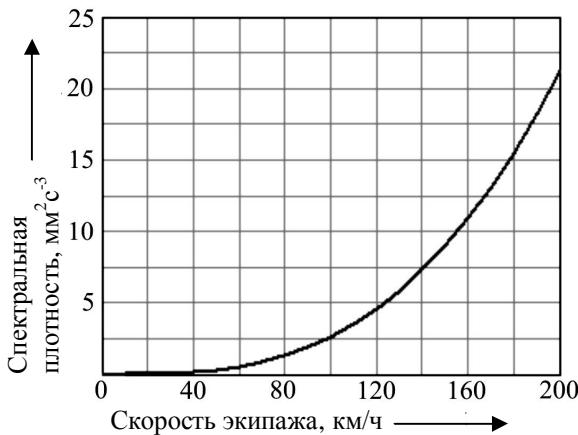


Рисунок 2 – Зависимость спектральной плотности ускорения неровности рельса от скорости движения экипажа

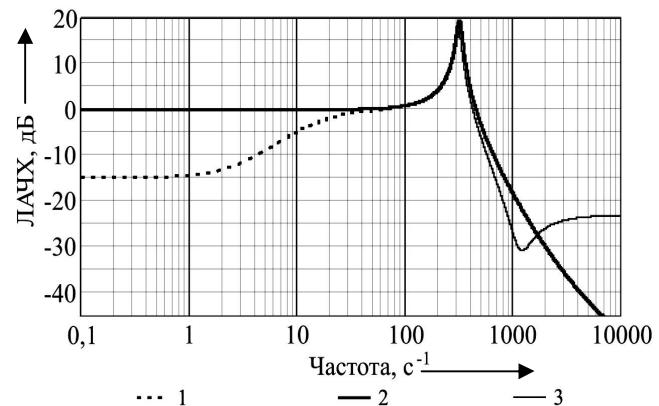


Рисунок 3 – ЛАЧХ механической системы для координат $q(t)$ и $z_{k,n}(t)$

Далее обозначим:

$$|W_z(j\omega)|^2 = \frac{B_6(j\omega)}{A_3(j\omega)A_3(-j\omega)} = \frac{B_6(j\omega)}{A_6(j\omega)}. \quad (16)$$

Тогда вместо формулы (12) с учетом выражения (11) получим:

$$\sigma_{\dot{z}}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |W_z(j\omega)|^2 S_{\ddot{z}}(\omega) d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{B_6(j\omega)}{A_6(j\omega)} S_0(V) d\omega = S_0(V) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{B_6(j\omega)}{A_6(j\omega)} d\omega. \quad (17)$$

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

Очевидно, что полиномы числителя и знаменателя дробно-рациональной функции подынтегрального выражения имеют одинаковый порядок и следовательно, интеграл не будет сходиться. Однако предположим, что «приведенной» массой пути m_p можно пренебречь по сравнению с массой необремененной части экипажа. Тогда в частотной передаточной функции коэффициент b_0 при старшей степени полинома числителя станет равным нулю, и степень полинома понизится на 2, в этом случае условие сходимости интеграла уже будет выполняться.

В формуле (15) для квадрата модуля передаточной функции обозначим: $c_1 = b_1^2$; $c_2 = 2b_1b_3 - b_2^2$; $c_3 = b_3^2$; для координаты q отличными будут только два последних коэффициента: $c_2^* = 2b_1b_3 - (b_2^*)^2$; $c_3^* = (b_3^*)^2$.

Вычислим интеграл от дробно-рациональной функции аналитически [5], выразив его через параметры системы:

$$I_3 = \frac{a_2a_3c_1 + a_0(a_1c_3 - a_3c_2)}{2a_0a_3(a_1a_2 - a_0a_3)}. \quad (18)$$

Тогда для рассматриваемой схемы среднеквадратическое отклонение подпрыгивания колесной пары при движении по упругому рельсовому пути

$$\sigma_z = \sqrt{2\pi S_0(V) I_3} = \sqrt{2\pi S_0(V) \frac{a_2a_3c_1 + a_0(a_1c_3 - a_3c_2)}{2a_0a_3(a_1a_2 - a_0a_3)}}. \quad (19)$$

Аналогично рассчитывается среднеквадратическое отклонение для колебания края листовой рессоры:

$$\sigma_{\dot{q}} = \sqrt{2\pi S_0(V) I_3^*} = \sqrt{2\pi S_0(V) \frac{a_2a_3c_1 + a_0(a_1c_3^* - a_3c_2^*)}{2a_0a_3(a_1a_2 - a_0a_3)}}. \quad (20)$$

Вследствие близости значений соответствующих коэффициентов передаточных функций для q и $z_{k,p}$ статистические характеристики колебательных процессов для данных координат примерно одинаковы, поэтому в дальнейшем будем приводить результаты только для колебаний колесной пары.

Интегрируя спектральную плотность ускорения случайного процесса колебаний $z_{k,p}$, вычисленную по формуле (11) (на рисунке 4 она приведена для скорости 80, 120 и 160 км/ч), получим его среднеквадратическое отклонение. Отметим, что аналитически данную величину можно получить только по приближенной передаточной функции, если пренебречь массой пути. Численное интегрирование спектральной плотности, полученной по приближенной характеристике (утолщенные линии на рисунке 4), дает такой же результат, но все же он также является приблизительным. А вот интегрирование точной спектральной плотности, которая с увеличением частоты не сходится к нулю, вообще говоря, дает в результате бесконечность. Поэтому интегрировать в этом случае целесообразно в ограниченном диапазоне частот, в связи с чем верхний предел интегрирования ограничиваются, как правило, величиной в несколько десятков резонансной частоты. Зависимость среднеквадратического отклонения ускорения колебаний колесной пары от скорости движения экипажа приведена на рисунке 5.

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

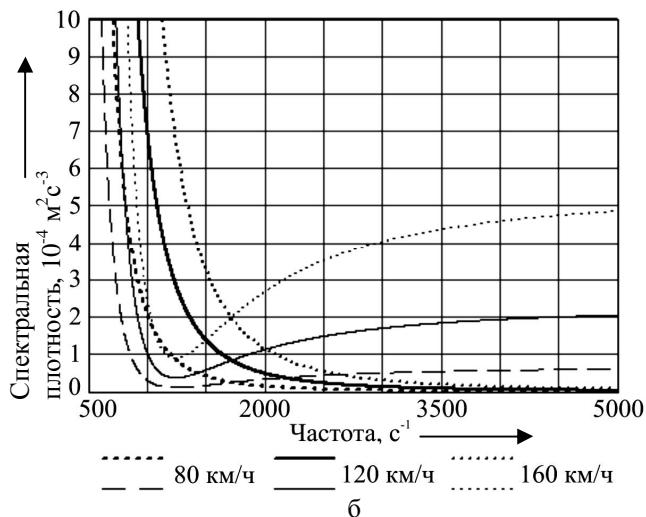
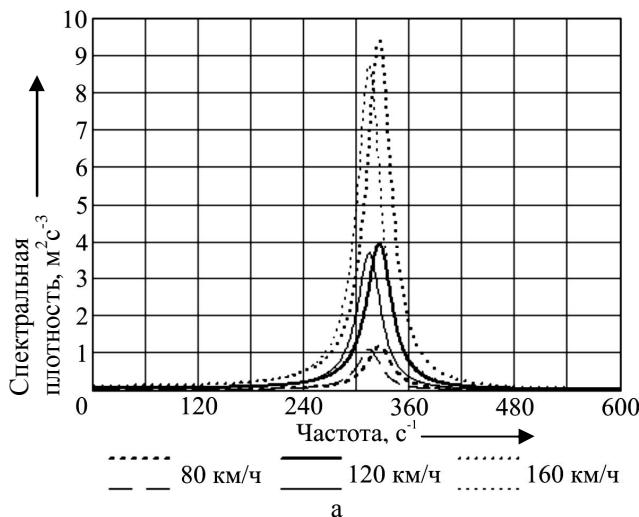


Рисунок 4 – Спектральная плотность ускорения вертикальных колебаний колесной пары: а – область резонанса, б – область высоких частот

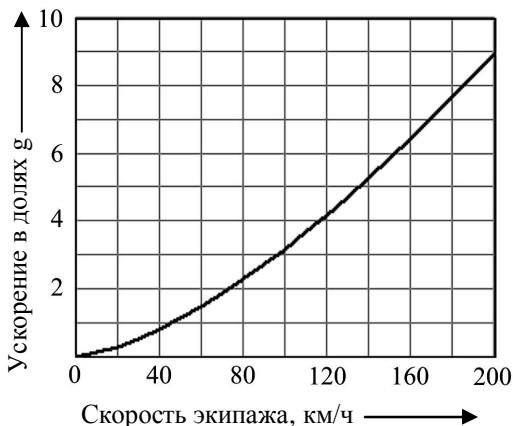


Рисунок 5 – Зависимость среднеквадратического отклонения ускорения колебаний колесной пары от скорости движения экипажа

числить интеграл (12) аналитически. Следовательно, найти данные значения и их зависимость от скорости движения экипажа можно только с помощью численного интегрирования.

Кроме того, численным методом следует находить СКО ускорения колебаний для случая, когда «приведенная» масса пути учитывается в расчетах (это относится ко всем случаям, где невозможен аналитический подход). Обратим внимание и на то, что в случае пренебрежения массой пути точный аналитический расчет и интегрирование в адекватном для вычислительной техники диапазоне частот дают приблизительно одинаковый результат.

Зависимость спектральной плотности колебаний колесной пары от частоты возмущения приведена на рисунке 6 для скорости движения экипажа 80, 120 и 160 км/ч (слева направо), график зависимости ее среднеквадратического отклонения от скорости движения экипажа – на рисунке 7.

Для сравнения найдем и СКО самой геометрической неровности рельса (как видно из графика, приведенного пунктирной линией на рисунке 7, оно должно быть одного порядка с СКО колебаний элементов экипажа):

$$S_\eta(\omega) = \frac{1}{\omega^4} S_{\dot{\eta}}(\omega); \quad (23)$$

$$\sigma_\eta^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_\eta(\omega) d\omega. \quad (24)$$

Управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов

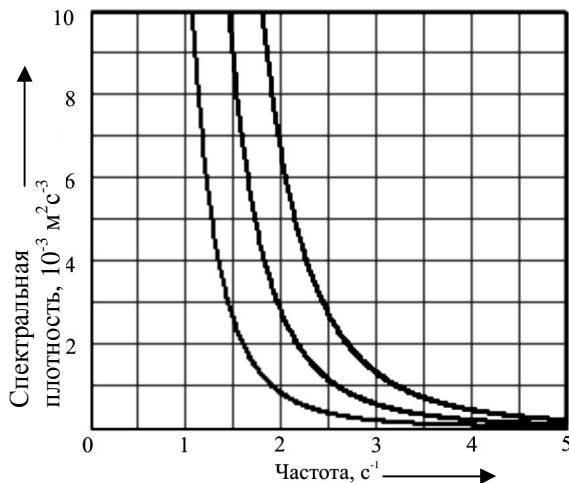


Рисунок 6 – Зависимость спектральной плотности колебаний колесной пары от частоты возмущения

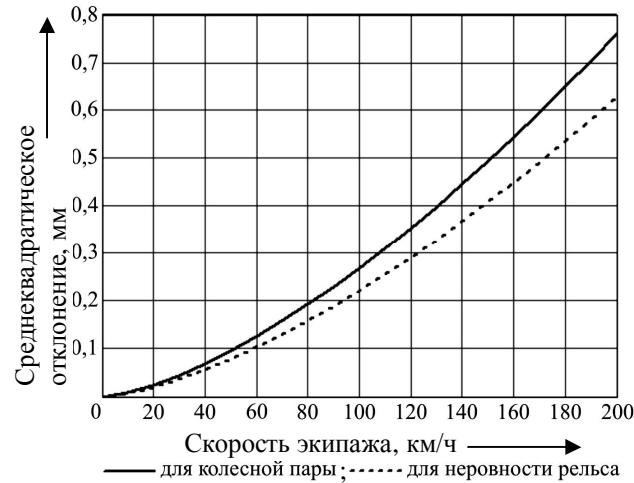


Рисунок 7 – Зависимость среднеквадратического отклонения колебаний колесной пары и неровности рельса от скорости движения экипажа

В заключение вычислим среднеквадратическое отклонение сил, возникающих в рассматриваемой системе. В качестве примера найдем статистические характеристики реакции рельса, так как эта сила является важной при решении задач динамики экипажа, связанных, в частности, с безопасностью движения. Сначала найдем ее спектральную плотность по формуле:

$$S_N(\omega) = |W_N(j\omega)|^2 S_{\eta}(\omega). \quad (25)$$

Передаточная функция для реакции рельса по неровности рельсового пути определяется соотношением:

$$W_N(s) = \frac{N(s)}{H(s)} = (m_{\text{к.п}} s^2 + \beta_{\text{л.п}} s + \dot{\chi}_{\text{л.п}}) W_z(s) - (\beta_{\text{л.п}} s + \dot{\chi}_{\text{л.п}}) W_q(s). \quad (26)$$

Далее, определив модуль этой передаточной функции, подставим его в формулу для спектральной плотности реакции (21), а затем проинтегрируем ее согласно формуле (22). В результате вычислим среднеквадратическое отклонение реакции рельса:

$$\sigma_N^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_N(\omega) d\omega. \quad (27)$$

График зависимости среднеквадратического отклонения реакции рельсового пути от скорости движения экипажа приведен на рисунке 8.

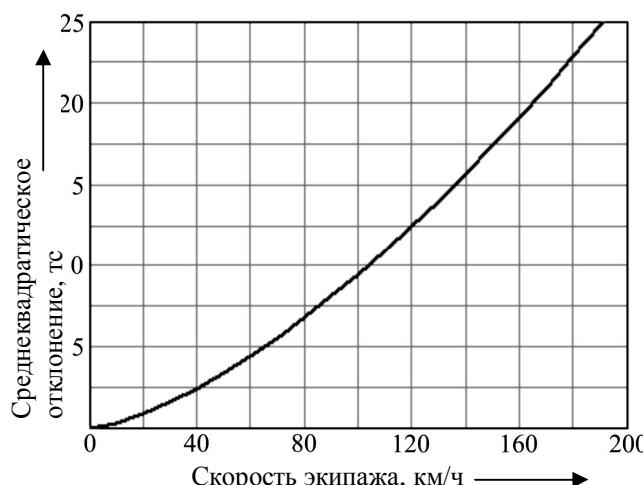


Рисунок 8 – Зависимость среднеквадратического отклонения реакции рельсового пути от скорости движения экипажа

Организация производства на транспорте

Представленные данные свидетельствуют о том, что при существующих средних скоростях обращения подвижного состава динамическая добавка реакции пути составляет от 4 до 12,5 тс (около 20 – 50 % от статической величины).

Список литературы

1. Камаев, В. А. Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава [Текст] / В. А. Камаев. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
2. Галиев, И. И. Метод разделения движения в задачах транспортной механики [Текст] / И. И. Галиев, В. А. Нехаев, В. В. Марковиченко // Исследование динамики транспортных и строительных конструкций: Межвуз. сб. науч. тр. / МИИТ. – М., 1989. – Вып. 817. – С. 4 – 10.
3. Вибрации в технике: Справочник: В 6 т. Т. 3. Колебания машин, конструкций и их элементов [Текст] / Под ред. Ф. М. Дементберга и К. С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.
4. Механическая часть тягового подвижного состава [Текст] / Под ред. И. В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
5. Лившиц, Н. А. Вероятностный анализ систем автоматического управления: В 2 т. Т. 1. Вероятностные и статистические характеристики воздействий и процессов. Линейные стационарные и нестационарные системы [Текст] / Н. А. Лившиц, В. Н. Пугачев. – М.: Советское радио, 1963. – 896 с.
6. Ушkalов, В. Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей [Текст] / В. Ф. Ушkalов, Л. М. Резников, С. Ф. Редько. – Киев: Наукова думка, 1982. – 360 с.

УДК 629.4.083: 65.011.4

В. А. Смирнов, В. Ф. Кузнецов, А. М. Семенов

АУТСОРСИНГ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности диагностирования подвижного состава железнодорожного транспорта путем передачи данного вида деятельности сторонним специализированным организациям на условиях аутсорсинга. Предложена методика оценки стоимости аутсорсинговых услуг на основе разработанной модели краткосрочного страхования рисков отрицательных последствий результатов диагностирования.

На сети железных дорог РФ ежегодно происходит более 5,5 тысячи случаев нарушения безопасности движения – браков в работе по вине отказов подвижного состава. Из них около 700 случаев – браки особого учета, связанные с авариями, сходами, столкновениями и крушениями.

Наибольшую долю отказов формируют технические неисправности. По грузовым и пассажирским вагонам: неисправности роликовых букс – 60 % в грузовом движении и 25 % – в пассажирском, тормозного оборудования – 21 %, привода генератора – 14 % (пассажирское движение), автосцепок – 7,5 % (рисунок 1).

Для электровозов наибольшее количество порч и неисправностей зафиксировано по электрическим цепям и аппаратуре (около 60 %), тяговым двигателям (более 15 %), автотормозному оборудованию (4,1 %), колесным парам и буксовым узлам (до 10 %).

Наибольший вес по тепловозному парку имеют неисправности дизеля с системой охлаждения (кривошипно-шатунный механизм и цилиндропоршневая группа, топливная аппаратура, система охлаждения, турбокомпрессор), доля которых составляет более 40 % от общего числа. На втором месте электрооборудование – 25 % всех случаев. Устойчиво высокую долю неисправностей имеют неисправности буксовых узлов (7,8 %).

Организация производства на транспорте

Степень тяжести дефекта определяет размер экономического ущерба последствий: причинение вреда жизни и здоровью людей; внеплановый восстановительный ремонт инфраструктуры и подвижного состава; приобретение подвижного состава, исключенного из инвентарного парка по техническому состоянию после крушения; экологический ущерб; потери от задержки поездов и нарушения графика движения и т. д.

Наиболее тяжелые последствия имеют неисправности механического оборудования, по причине которых происходит до 80 % сходов в поездах по вине вагонов и около 50 % сходов по вине локомотивов (усталостные трещины колесных пар, рам тележек, редукторов тяговой передачи, приводящие к их излому; дефекты подшипников буксового узла; отдельные случаи нарушения крепежа и падения на путь автосцепок, люков, кожухов зубчатой передачи и неисправностей экипажной части).

Ежегодно для устранения последствий отказов оборудования проводится более 14 тыс. внеплановых ремонтов локомотивов и более 2,5 млн отцепок в текущий ремонт грузовых вагонов.

Более половины причин браков и отказов на линии подвижного состава являются технологическими (нарушение зазоров, крепления, износ узлов и деталей сборочных единиц) и могут быть заблаговременно выявлены при ремонте и техническом обслуживании в депо:

1) грузовые вагоны:

а) буксовый узел: разрушение сепараторов – 27 %, нарушение крепления – 19, дефекты смазки – 7,2 %;

б) тормозное оборудование: неисправность тормозных цилиндров – 7 %, воздухораспределителей – 3,8, авторежимов и их приводов, авторегуляторов, ослабление крепления труб и тормозных приборов – 4,2 %;

2) электровозы:

а) электрическая аппаратура: неправильная регулировка аппаратов, нарушение электрического контакта в силовых цепях и блокировках – 20 % (подгар, окисление, излом), неисправность привода (негерметичность, заклинивание и т. д.) – 18, межвитковые замыкания в катушках, пробой изоляции – 10 %;

б) электрические машины: пробой изоляции и межвитковые замыкания обмоток – 17 %, дефекты подшипников, повреждение якоря, неисправность щеточного аппарата;

в) тормозное оборудование: дефекты соединительных рукавов – 1,2 %, трубопроводов – 0,8, приборов управления, компрессоров.

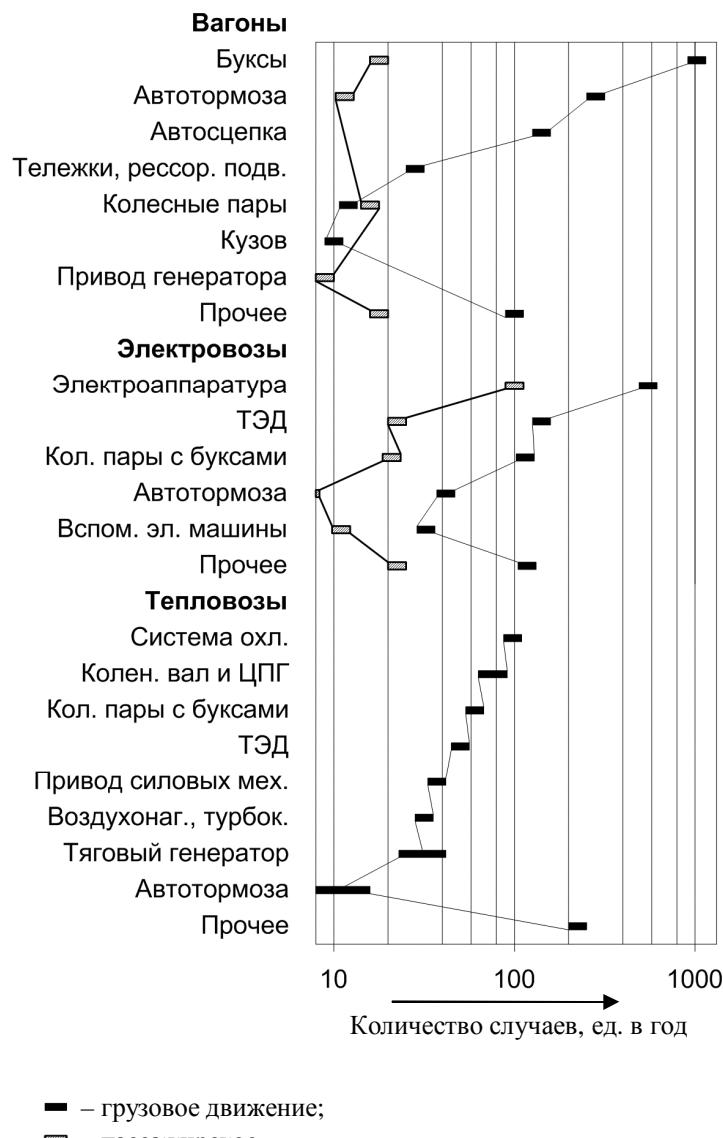


Рисунок 1 – Браки и отказы подвижного состава на линии

Организация производства на транспорте

Для иллюстрации возможного ущерба от повреждений оборудования на рисунке 2 приведена стоимость отдельных узлов и деталей подвижного состава, а также цены на услуги по ремонту и восстановлению (в ценах 2009 г., по данным открытых интернет-источников).

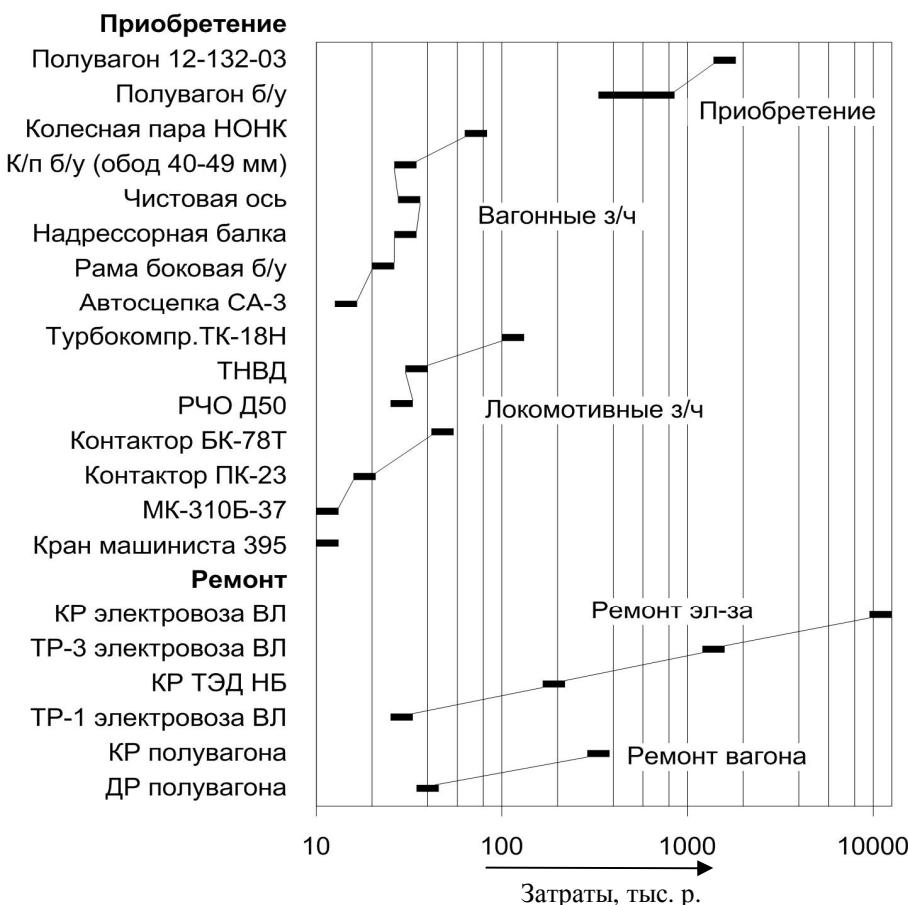


Рисунок 2 – Затраты на восстановление подвижного состава

Эффективным способом повышения безопасности движения и надежности подвижного состава является использование приборных средств при проведении контроля и диагностировании ответственных узлов и деталей.

В настоящее время при техническом обслуживании и ремонте подвижного состава активно внедряются средства диагностирования, в том числе электрического оборудования (электрических цепей, машин и аппаратов), автотормозного оборудования, подшипниковых узлов и зубчатых передач, дизель-генераторной установки.

Развитие приборной базы средств неразрушающего контроля и диагностирования, активное внедрение в состав приборных комплексов сложных микропроцессорных и компьютерных систем часто идет с опережением потенциальных возможностей их эффективной эксплуатации персоналом железнодорожных предприятий. Ситуация с освоением сложной новой техники усугубляется отсутствием системы технического сервиса и подготовки кадров, высокой инерционностью нормативно-технического обеспечения, широкой номенклатурой приборов, выпускаемых различными производителями даже одного функционального назначения [1]. Из обозначенных руководством ОАО «РЖД» задач особо необходимо отметить:

- сокращение издержек на проведение диагностических операций;
- повышение достоверности диагностирования;
- сокращение комплекса затрат, связанных с содержанием парка диагностических комплексов (калибровка, обслуживание, подготовка и повышение квалификации операторов).

Организация производства на транспорте

Традиционно наращивание эффективности происходило эволюционным путем, главным недостатком которого является длительный период освоения и выхода на плановые показатели (рисунок 3, кривая 1, 2) и, как следствие, существенными потерями в данный период. По ряду предприятий ввиду особенностей демографической ситуации, географического расположения, уровня развития предприятия в целом получение положительного результата в принципе можно поставить под сомнение [1, 2].

Вместе с тем анализ системы организации диагностирования в локомотивном, вагонном и пригородном хозяйстве показал, что практически весь комплекс контрольно-диагностических операций с использованием приборных методов сосредоточен в основных депо и выполняется силами диагностических групп (цехов) при проведении ремонта подвижного состава.

Данное обстоятельство создает благоприятные условия для радикального решения проблем низкой эффективности эксплуатации средств диагностирования путем передачи данных функций специализированным организациям в рамках аутсорсинга услуг [3].

В качестве подтверждения действенности данной меры внимания заслуживает опыт «пилотного» проекта Северной железной дорогой и ООО «Вастсервис» по проведению вибродиагностирования подшипниковых узлов локомотивов на условиях аутсорсинга [4].

Не затрагивая детали технологической схемы, остановимся на результатах эксперимента, проходящего с апреля 2008 г.: достоверность диагностирования возросла с 64 до 97 % за полтора года (рисунок 3, кривая 3). При этом суммарный экономический эффект составил 460 тыс. р.

Одним из сдерживающих факторов масштабного внедрения аутсорсинга диагностирования и неразрушающего контроля подвижного состава является отсутствие общепринятых финансовых моделей расчета эффективности такого шага. В частности, необходимы финансовые модели определения цены услуг, предполагающие разделение рисков и бонусов за возможный ущерб из-за некачественно выполненной работы.

Сотрудниками ОмГУПСа совместно с Институтом математики и информационных технологий ОмГУ проводятся работы по созданию методик многофакторного финансово-экономического анализа рисков безопасности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте.

В рамках статьи авторами приводится описание одного из элементов научной работы, связанного с расчетом базовой стоимости услуг по диагностированию подвижного состава с учетом финансовых рисков отрицательных последствий ошибок диагностирования.

Остановимся на ее отдельных компонентах, доступных для самостоятельного применения работниками экономических и финансовых служб ОАО «РЖД» при подготовке договоров на передачу диагностирования в аутсорсинг.

Предположим, что общая цена диагностирования одной единицы оборудования $s = s_0 + a$ складывается из себестоимости диагностирования и надбавки за риск от ошибок диагностирования.

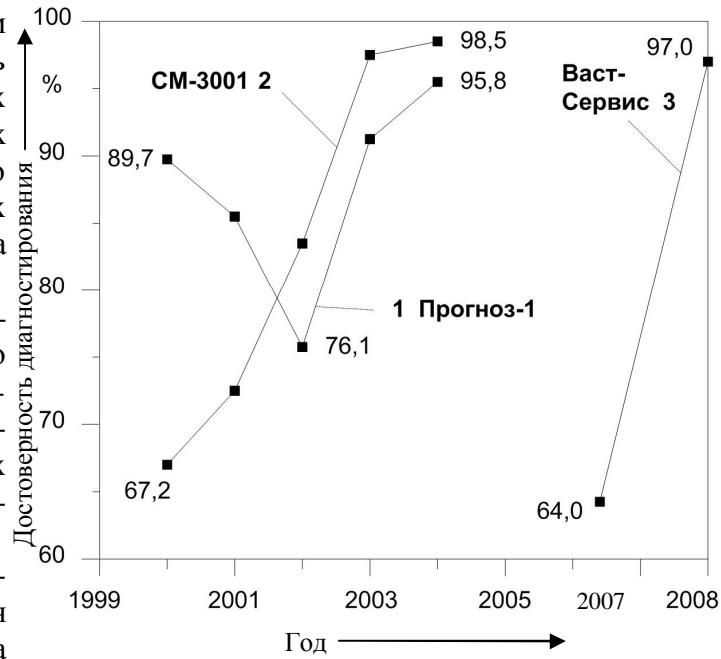


Рисунок 3 – Достоверность диагностирования подшипниковых узлов локомотивов

Организация производства на транспорте

Себестоимость диагностирования s_0 может быть определена способом суммирования эксплуатационных и общехозяйственных расходов. Имея информацию по статьям расходов и объем проведенного диагностирования за выбранный период времени, можно определить себестоимость диагностирования одной единицы оборудования (как правило, выполняется в условиях депо силами экономического отдела).

При полной передаче риска от заказчика к исполнителю расчет надбавки за риск a можно провести, используя модели краткосрочного страхования [5]. Опишем модель подробнее.

Вероятности ошибок диагностирования можно определить следующим образом. Пусть N – количество проверенного оборудования за год, N_1 – количество выявленных дефектов, N_2 – количество подтвержденных дефектов и N_3 – количество пропущенных дефектов. Тогда вероятность поступления на диагностирование неисправного оборудования q можно оценить как $\frac{N_2 + N_3}{N}$. Ошибки диагностирования зависят только от технических характеристик средств диагностирования и могут быть 1-го или 2-го рода. Ошибка 1-го рода заключается в том, что диагностирование показало исправность неисправного оборудования и ее вероятность q_1 может быть оценена как $\frac{N_3}{N_2 + N_3}$. Ошибка 2-го рода заключается в том, что диагностирование показало неисправность исправного оборудования и ее вероятность q_2 может быть оценена как $\frac{N_1 - N_2}{N - N_2 - N_3}$.

Ошибка диагностирования 1-го рода приводит к финансовым потерям b_1 , равным стоимости одного непланового ремонта. Ошибка диагностирования 2-го рода приводит к финансовым потерям b_2 , равным затратам на «ложный» ремонт.

Оценим стоимость риска от ошибок диагностирования. Предположим, что заказчик платит фирме a рублей – страховую премию. Тогда в случае ошибки диагностирования 1-го рода с вероятностью $p_1 = q_1$ фирма выплачивает заказчику страховую выплату b_1 рублей, а в случае ошибки диагностирования 2-го рода с вероятностью $p_2 = (1 - q)q_2$ – страховую выплату b_2 рублей.

При известной величине страховых выплат нужно найти размер a страховой премии. Страховая премия должна обеспечивать малую вероятность безубыточной работы. Предположим, что по условиям договора предстоит выполнить диагностирование N единиц оборудования. Пусть X_i – случайная величина, описывающая финансовый риск диагностирования i -й единицы оборудования. Случайные величины X_i независимы и распределены одинаково. Распределение случайной величины X_i имеет вид:

X_i	b_1	b_2	0
p	p_1	p_2	$p_3 = 1 - p_1 - p_2$

Средняя величина иска $m = MX_i = p_1b_1 + p_2b_2$, а дисперсия иска – $\sigma^2 = p_1(b_1 - m)^2 + p_2(b_2 - m)^2 + p_3m^2$. Распределение случайной величины, описывающей доход исполнителя от диагностирования i -й единицы оборудования, имеет вид:

$a - X_i$	$a - b_1$	$a - b_2$	a
p	p_1	p_2	p_3

Организация производства на транспорте

Средний доход исполнителя $a - MX_i = a - m$. Для безубыточной работы необходимо, чтобы средний доход был неотрицательным. Минимальное возможное значение страховой премии $a_0 = m$ называется нетто-премией.

Пусть $S_N = \sum_{i=1}^N X_i$ – общая сумма страховых выплат и $K_N = N \cdot a$ – сумма всех страховых премий. Математическое ожидание случайной величины S_N равно $N \cdot a_0$, а дисперсия – $N \cdot \sigma^2$. При небольших значениях N функцию распределения случайной величины S_N можно указать явно. При $N \rightarrow \infty$ функция распределения нормированной и центрированной случайной величины $S_N^* = \frac{S_N - N \cdot a_0}{\sigma \sqrt{N}}$ имеет следующий предел:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt. \quad (1)$$

Если наступило событие $S_N > K_N$, то это означает, что исполнитель понес убытки. Страховой тариф a можно определить, задав уровень приемлемой вероятности $\alpha = P(S_N \leq K_N)$ работы без убытков. По заданной вероятности α определим квантиль x_α как решение уравнения $\Phi(x) = \alpha$. Например, при изменении вероятности α от 0,9 до 0,999 квантиль x_α принимает значения от 1,282 до 3,090. Вероятность

$$P\left(S_N^* = \frac{S_N - N \cdot a_0}{\sigma \sqrt{N}} \leq x_\alpha\right) = P\left(S_N \leq N \cdot a_0 + x_\alpha \sigma \sqrt{N}\right) = \alpha, \quad (2)$$

откуда $a = a_0 + x_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$. Разность $a - a_0$ называется страховой надбавкой.

В качестве иллюстрации приведем пример расчета стоимости услуг вибродиагностирования подшипниковых узлов в локомотивном депо при себестоимости диагностирования 200 р. на единицу. В случае ошибки диагностирования 1-го рода с вероятностью $p_1 = 0,005$ фирма – поставщик услуг выплачивает заказчику страховую выплату $b_1 = 15000$ р., а в случае ошибки диагностирования 2-го рода с вероятностью $p_2 = 0,025$ – страховую выплату $b_2 = 5000$ р.

На рисунке 4 представлено поле значений страховой премии от вероятности работы без убытков при объеме диагностирования от 2000 до 20 000 единиц в год.

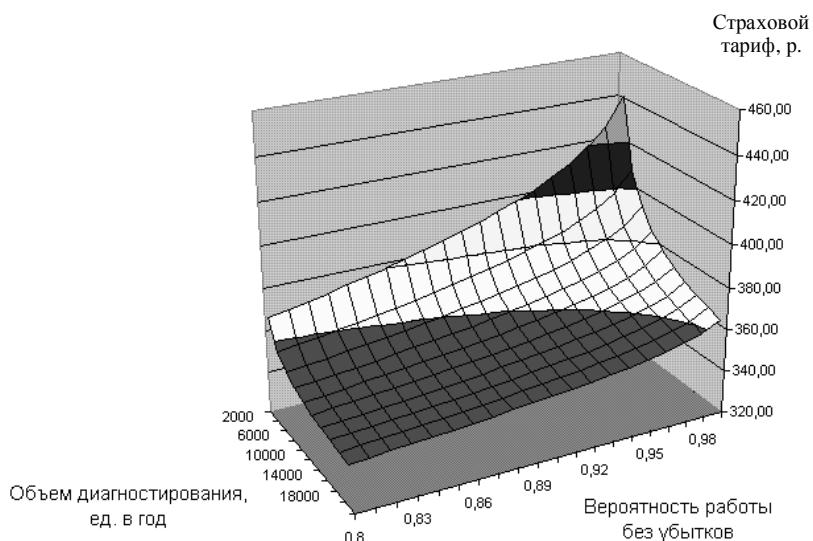


Рисунок 4 – Страховая премия (тариф)

Организация производства на транспорте

Передача на аутсорсинг процессов диагностирования подвижного состава должна осуществляться после детального исследования и контрактного описания юридической и экономической ответственности сторон в возможных случаях нарушения безопасности движения, повлекших за собой экономические потери участников перевозочного процесса, ущерб жизни и здоровью людей.

Расчет базовой стоимости услуг диагностирования должен формироваться исходя из экономической оценки возможных отрицательных последствий.

В качестве финансово-экономической модели для практического применения на российских железных дорогах может быть рекомендована модель краткосрочного страхования рисков ошибок диагностирования.

Список литературы

1. Самсонов, Е. Техническая диагностика: пора ломать стереотипы [Текст] / Е. Самсонов, В. Ермишин // Локомотив. – 2009. – №10. – С. 2 – 5.
2. Щедрин, В. И. Еще раз о перспективах вибродиагностики [Текст] / В. И. Щедрин, В. Ю. Тэттэр // Локомотив. – 2007. – № 5. – С. 39 – 41.
3. Лапидус, Б. М. Аутсорсинг как одно из приоритетных направлений в реформировании и повышении эффективности российских железных дорог [Текст] / Б. М. Лапидус // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 2. – С. 40, 41.
4. Тулугуров, В. «Васт-сервис» – надежный партнер [Текст] / В. Тулугуров // Локомотив. – 2008. – № 8 – С. 14, 15.
5. Фалин, Г. И. Математический анализ рисков в страховании [Текст] / Г. И. Фалин. – М.: Российский юридический издательский дом, 1994. – 130 с.

УДК 620.9:005.93:502.174

В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗАКОНА № 261-ФЗ от 23.11.09 «ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ...» В ХОЛДИНГЕ «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

В статье рассматриваются основные направления реализации федерального закона № 261-ФЗ от 23.11.09 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» в холдинге «Российские железные дороги». Раскрываются основные задачи по повышению эффективности использования энергоресурсов на тягу поездов и нетяговые нужды и предлагаются пути их реализации.

Принятие федерального закона № 261-ФЗ ставит перед холдингом «Российские железные дороги» задачу по определению требований энергетической эффективности к объектам железнодорожного транспорта и по оценке их соответствия указанным требованиям.

В соответствии со ст. 9 Закона государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в холдинге «Российские железные дороги» как организации, осуществляющей регулируемые виды деятельности, должно осуществляться по следующим основным направлениям:

учет используемых энергетических ресурсов;
соблюдение требований к энергетической эффективности зданий, строений, сооружений и инженерных коммуникаций;
проведение обязательного энергетического обследования.

Организация производства на транспорте

Учет используемых энергетических ресурсов. В настоящее время направление совершенствования коммерческого учета электрической энергии на сети железных дорог в полной мере реализуется за счет внедрения автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) по следующим программам:

АСКУЭ оптового рынка (установка систем учета электроэнергии на тяговых подстанциях и в железнодорожных узлах);

АСКУЭ розничного рынка электроэнергии.

Актуальными в настоящее время являются вопросы совершенствования учета электроэнергии на тягу поездов, среди которых первостепенное значение имеют

организация учета электроэнергии, отпускаемой на тягу поездов по фидерам контактной сети тяговых подстанций;

внедрение на электроподвижном составе современных автоматизированных систем учета электроэнергии, отвечающих требованиям, предъявляемым к системам коммерческого учета электроэнергии.

Внедрение указанных систем обеспечит

балансовый контроль состояния учета электроэнергии на шинах тяговых подстанций, питающих тяговую нагрузку;

контроль расхода электрической энергии по межподстанционным зонам, что позволит выявлять межподстанционные зоны с повышенным расходом электрической энергии;

оценку равномерности загрузки тяговых подстанций участка; информация о равномерности загрузки тяговых подстанций позволяет выработать мероприятия по выравниванию нагрузок и, соответственно, по снижению расхода электрической энергии на тягу поездов;

оценку условий согласования систем внешнего и тягового электроснабжения, т. е. выявление межподстанционных зон с повышенными уравнительными токами;

определение количества электрической энергии, отдаваемой тяговыми подстанциями соседних железных дорог и тарифных зон в граничные межподстанционные зоны.

Решение указанных задач позволит снизить уровень небаланса электрической энергии на тягу поездов практически до уровня технологических потерь и обеспечит достоверное определение уровня удельного расхода электрической энергии на тягу поездов по счетчикам электроподвижного состава.

Кроме того, внедрение на электроподвижном составе современных автоматизированных систем учета электроэнергии обеспечит достоверный расчет затрат на электроэнергию, предъявляемых в составе платы за пользование инфраструктурой перевозочным компаниям, не входящими в состав ОАО «РЖД».

Направление совершенствования системы учета таких топливно-энергетических ресурсов, как тепловая энергия, холодная вода, пар, мазут, реализуется в ОАО «Российские железные дороги» путем внедрения автоматизированных систем комплексного учета топливно-энергетических ресурсов (АСКУ ТЭР).

При выборе мест установки приборов учета приоритет был отдан установке счетчиков в точках коммерческого учета приема ТЭР от сторонних источников.

Внедрение систем АСКУ ТЭР позволяет на первом этапе получить прямой эффект, обусловленный снижением платы за потребляемые энергоресурсы, а в последующем – и «косвенный» эффект, возникающий от использования данных, полученных с помощью систем АСКУ ТЭР, при разработке и внедрении мероприятий и рекомендаций, направленных на повышение эффективности использования энергоресурсов.

С учетом требований ст. 13 Закона перспективным для холдинга «Российские железные дороги» является решение следующих задач.

1. Расширение перечня точек учета топливно-энергетических ресурсов с целью оснащения всех находящихся на балансе зданий и сооружений приборами учета топливно-энергетических ресурсов в соответствии с требованиями закона.

Организация производства на транспорте

2. Повышение «косвенного» эффекта от использования АСКУ ТЭР, для чего целесообразно проведение исследований, направленных на определение основ управления процессами потребления ТЭР с применением данных системы АСКУ ТЭР, включающих в себя

наработку базы данных о потреблении топливно-энергетических ресурсов с помощью системы АСКУ ТЭР, объемах производства продукции (работ, услуг) по структурным подразделениям;

разработку методики анализа данных АСКУ ТЭР о потреблении энергоресурсов;

разработку системы управляющих воздействий, направленных на обеспечение энергетической эффективности, при принятии решений по использованию энергоресурсов в технологических и производственных процессах, основанных на данных АСКУ ТЭР.

Соблюдение требований к энергетической эффективности зданий, строений, сооружений. В соответствии с ч. 3 ст. 11 Закона должны быть разработаны требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений, включающие в себя

показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении;

требования к влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений архитектурным, функционально-технологическим, конструктивным и инженерно-техническим решениям;

требования к отдельным элементам, конструкциям зданий, строений, сооружений и к их свойствам, к используемым в зданиях, строениях, сооружениях *устройствам и технологиям*.

Учитывая специфику работы железнодорожного транспорта и отсутствие в настоящее время типовых требований, холдингу «Российские железные дороги» целесообразно разработать систему оценки энергетической эффективности зданий, строений, сооружений железнодорожного транспорта.

Система оценки энергетической эффективности может быть реализована по двухуровневой системе:

1) на уровне структурного подразделения – на основании данных об удельном расходе топливно-энергетических ресурсов на выпуск единицы продукции для структурных подразделений железных дорог и иных дочерних и зависимых компаний;

2) на уровне зданий, строений, сооружений – на основании данных об удельном расходе топливно-энергетических ресурсов на ремонт (изготовление) сборочных единиц или иных измерителях объема работы, которые будут приняты для данного конкретного типа зданий, строений, сооружений в соответствии с их функциональной принадлежностью.

Обобщение результатов анализа использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в структурных подразделениях железнодорожного транспорта позволит разработать систему контроля и нормирования расхода ТЭР по типовым объектам. Под типовыми объектами структурного подразделения следует понимать цеха, отделения или производственные участки структурного подразделения независимо от их принадлежности по хозяйствам железной дороги или иным филиалам ОАО «РЖД», характеризующиеся определенным набором оборудования, видами выполняемых работ и режимами работы.

Выбор измерителей работы для каждого типового объекта (либо направления использования ТЭР) должен основываться на следующих принципах:

в границах типового объекта должен быть единый измеритель конечной продукции;

измеритель готовой продукции должен быть отражен в существующей статистической отчетности железной дороги;

объем работы типового объекта должен подлежать достоверному прогнозированию.

Количество типовых объектов в границах каждого структурного подразделения (СП) должно быть достаточным для достоверного отражения особенностей потребления ТЭР.

Такой подход позволит оценить эффективность использования ТЭР за счет мониторинга удельного расхода ТЭР в границах одного структурного подразделения за различные отчет-

Организация производства на транспорте

ные периоды и сравнения удельного расхода ТЭР различных структурных подразделений в рамках служб и хозяйств. А контроль удельного расхода топливно-энергетических ресурсов на ремонт (изготовление) сборочных или иных единиц готовой продукции позволит определять класс энергоэффективности зданий, строений, сооружений.

Проведение обязательного энергетического обследования. В соответствии со ст. 16 Закона все объекты холдинга «Российские железные дороги» подлежат обязательному энергетическому обследованию, так как холдинг относится к разряду организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности.

Имеющийся научный задел и практический опыт проведения работ по энергетическому обследованию объектов железных дорог показывают, что наиболее перспективным с точки зрения как организации проведения работ, так и оптимизации расходов на проведение энергетических обследований стационарных объектов железнодорожного транспорта является проведение комплексного энергетического обследования железнодорожных узлов. Такой подход позволяет провести анализ в границах железнодорожного узла всех электрических и тепловых сетей, оценить уровень потерь энергоресурсов при их транспортировке, провести оптимизацию режимов работы источников тепловой энергии, выполнить комплексный анализ технологических процессов ремонта подвижного состава и т. д.

По результатам энергетического обследования железнодорожного узла составляется и утверждается существующим порядком программа внедрения разработанных в ходе обследования организационно-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

Для оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на объектах железнодорожного транспорта, расположенных на небольших станциях и вдоль железнодорожного пути, целесообразно разработать методику экспресс-оценки, которая позволяла бы присвоить указанным объектам класс энергоэффективности на основании укрупненных показателей.

Оценка энергетической эффективности тяги поездов является важнейшим элементом системы управления перевозочным процессом. Кроме того, потребление электроэнергии и дизельного топлива на тягу поездов значительно превышает расход этих энергоресурсов в стационарной энергетике. В связи с этим проведение энергетического обследования тяги поездов является, безусловно, актуальным и одновременно обязательным мероприятием для железнодорожного транспорта.

Основными направлениями работ при проведении энергетического обследования тяги поездов являются следующие:

- анализ условий сопряжения систем внешнего и тягового электроснабжения;
- оценка состояния электрооборудования и режимов работы тяговых подстанций;
- оценка состояния контактной сети, постов секционирования, пунктов параллельного соединения, рельсовых цепей;
- оценка состояния подвижного состава и эффективности его использования;
- анализ эффективности энергосбережения при организации движения поездов;
- анализ применения и эффективности использования энергии рекуперации;
- оценка состояния учета электроэнергии на тяговых подстанциях и электроподвижном составе и анализ уровня небаланса электроэнергии на тягу поездов.

Для успешной реализации программы проведения энергетического обследования холдинга «Российские железные дороги» целесообразно выполнить работы по разработке методики или отраслевого стандарта СТО РЖД «Энергетическое обследование объектов железнодорожного транспорта». Указанный стандарт (методика) должен в полной мере отражать действующее законодательство в области энергосбережения, устанавливать порядок проведения энергетических обследований любых объектов и структурных подразделений железнодорожных дорог и иных дочерних и зависимых обществ, входящих в состав холдинга «Российские

Организация производства на транспорте

железные дороги», учитывать их специфику, определять порядок расчета трудоемкости и стоимости работ по энергетическому обследованию.

Система контроля отнесения расхода энергоресурсов по видам деятельности и статьям затрат. Важнейшим направлением работ по повышению эффективности использования энергоресурсов является разработка системы контроля отнесения расхода энергоресурсов по видам деятельности и статьям затрат номенклатуры расходов основных видов хозяйственной деятельности железнодорожного транспорта.

За основу системы контроля может быть принята апробированная на сети железных дорог методика составления энергоэкономических паспортов железных дорог – филиалов ОАО «Российские железные дороги».

Энергоэкономический паспорт железной дороги – филиала ОАО «РЖД» – составляется на основании заполненных структурными подразделениями типовых форм исходных данных в разрезе служб (хозяйств), дирекций и обособленных структурных подразделений, входящих в состав железной дороги.

Типовые формы исходных данных для структурных подразделений представляют собой набор табличных форм, содержащих данные о выполненных и планируемых объемах работ по видам деятельности и статьям затрат, объемах потребления основных видов топливно-энергетических ресурсов и затратах на их приобретение по видам деятельности и видам работ (статьям затрат на выполнение работ), удельном расходе ТЭР на выпуск продукции (выполнение работ, оказание услуг) по видам работ, а также об изменении удельного расхода ТЭР за счет внедрения энергосберегающих технологий и изменения состава основного оборудования в текущем году.

Виды работ для конкретного структурного подразделения соответствуют статьям из номенклатуры расходов основной деятельности, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» № 1098р от 20.05.08. Для каждого типа структурных подразделений набор видов работ различен, что обусловлено структурой номенклатуры расходов.

Энергоэкономические паспорта железных дорог являются составляющей системы организационно-технических мер по энергосбережению, обеспечивающей планирование расхода топливно-энергетических ресурсов. В то же время данные энергоэкономических паспортов могут эффективно применяться для анализа отнесения расхода энергоресурсов по видам деятельности и статьям затрат номенклатуры расходов как структурных подразделений, так и служб и дирекций железных дорог – филиалов ОАО «Российские железные дороги», а в перспективе – и дочерних, и зависимых обществ холдинга «Российские железные дороги».

УДК 621.313

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КОММУТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Авилов Валерий Дмитриевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника».

Тел.: (3812) 31-18-27, факс: 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru

Петров Павел Геннадьевич

Преподаватель кафедры «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-27, факс: 31-18-27.

Моисеенок Евгений Михайлович

Аспирант кафедры «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-27, факс: 31-18-27.

E-mail: citydom@bk.ru

Эффективность и надежная работа тягового подвижного состава во многом зависят от надежности их тяговых двигателей и вспомогательных электрических машин. Ожидаемое увеличение объемов перевозок и увеличение интенсивности движения потребуют серьезного пересмотра технологической культуры ремонта и эксплуатации электрических машин тягового подвижного состава.

Ключевые слова: коллекторно-щеточный узел, машина постоянного тока, коммутация, тяговый электродвигатель, добавочный полюс, воздушный зазор, коммутационная напряженность.

INCREASING OF SWITCHING STABILITY ON DC MACHINES

Avilov Valeriy Dmitrievich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr.Sci.Tech., professor, head of the chair «Electric cars and the general of the electrical engineer».

Phone: (3812) 31-18-27, fax: 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru

Petrov Pavel Gennadievich

The teacher of chair «Electric cars and the general of the electrical engineer», OSTU.

Phone: (3812) 31-18-27, fax: 31-18-27.

Moiseenok Eugene Mihailovich

The post-graduate student of chair «Electric cars and the general of the electrical engineer», OSTU.

Phone: (3812) 31-18-27, fax: 31-18-27.

E-mail: citydom@bk.ru

АННОТАЦИИ

Effectiveness and reliability of traction power rolling stock is largely dependent on the reliability of traction motors and auxiliary electric cars. The expected increase in traffic volumes and an increase in traffic will require a thorough review of the technological culture of maintenance and operation of electrical machines locomotives.

Keywords: commutate-brush unit, DC machine, commutation, traction engine, interpole, air gap, commutation intensity.

УДК 629.4.027/027:620.179.16(07)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ И РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ КОЛЕСНЫХ ПАР

Ахмеджанов Равиль Абдрахманович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство».

Тел.: (3812) 31-06-72.

Кашка Владимир Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-72.

Тихонов Александр Викторович

Аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-72.

В работе рассчитаны динамические характеристики частиц ферромагнитного порошка при магнитопорошковом контроле способами остаточной намагниченности и приложенного поля, а именно траектории перемещения в магнитном поле трещины, и время образования валиков индикаторного рисунка. Получена математическая модель магнитного поля короткого соленоида. Разработана непрерывная аналитическая зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля, характеризующая петлю гистерезиса, представленная системой двух гармонических функций с разностью начальных фаз, зависящей от коэрцитивной силы. Результаты исследований позволяют рассчитать максимально возможную при магнитопорошковом контроле скорость перемещения намагничающего устройства относительно объекта контроля и установить новый режим контроля осей колесных пар вагонов с совмещенным вращением колесной пары и поступательным движением соленоида. Для реализации предложенного режима разработан автоматизированный комплекс магнитопорошкового контроля оси колесной пары в сборе с колесами.

Результаты исследований внедрены в лаборатории неразрушающего контроля Омского государственного университета путей сообщения (ДУОСП ОмГУПСа) и подготовлены к внедрению на демонтажном участке вагонно-колесной мастерской (ВКМ) ст. Иртышская Западно-Сибирской железной дороги.

Ключевые слова: магнитопорошковый метод неразрушающего контроля, соленоид, колесная пара, стандартные образцы предприятий.

RESEARCH OF WAYS AND WORKING OUT OF MEANS OF THE AUTOMATED МАГНИТОПОРОШКОВОГО THE CONTROL OF WHEEL PAIRS

Ahmedzhanov Ravil Abdrahmanovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Cand.Tech.Sci., professor of the chair «Cars and a carload economy».

Phone: (3812) 31-06-72.

Kashka Vladimir Sergeevich

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Cars and a carload economy», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-72.

Tikhonov Alexander Viktorovich

The post-graduate student of chair «Cars and a carload economy», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-72.

In work dynamic characteristics of particles of a ferromagnetic powder are calculated at magnitopowder the control by ways of residual magnetisation and the enclosed field, namely, moving trajectories in a magnetic field of a crack and time of formation of platens of display drawing. The mathematical model of a magnetic field of the short solenoid is received. Continuous analytical dependence a magnet th of an induction from intensity of the magnetic field, characterising the hysteresis loop, presented by system of two harmonious functions with the difference of initial phases dependent from force is developed. Results of researches allow to calculate greatest possible at magnitopowder the control speed of moving of the magnetising device concerning object of the control and to establish a new verification mode of axes of wheel pairs cars with the combined rotation of wheel pair and solenoid progress. The automated complex is developed for realisation of the offered mode magnitopowder the control of an axis of wheel pair in gathering with wheels.

Results of researches are introduced in laboratory of not destroying control of Omsk State Transport University (DUOSP OSTU) and prepared for introduction on a dismantling site wagon-no-wheel masterful (BKM) the item Irtysh the Western-Siberian railway.

Keywords: magnitopowder method of not destroying control, the solenoid, wheel pair, standard samples of the enterprises.

УДК 629.4.027.115

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РОЛИКОВОЙ БУКСЫ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Бородин Анатолий Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теория механизмов и детали машин».

Тел.: (3812) 31-06-18.

E-mail: tmdm@omgups.ru

Кулинич Евгений Николаевич

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», ОмГУПС.

Тел.: (3832) 29-48-36.

АННОТАЦИИ

Иванова Юлия Алексеевна

Преподаватель кафедры «Теория механизмов и детали машин», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-18.

E-mail: Ivanovatmdm@mail.ru

В статье обоснована актуальность принятия мер для снижения количества неисправностей роликовых букс грузовых вагонов. Предложена усовершенствованная конструкция буксы, обеспечивающая рациональное восприятие комбинированной нагрузки, что приводит к существенному улучшению условий работы подшипников и повышению их ресурса.

Ключевые слова: букса, подшипник, ролик, ресурс, грузоподъемность.

IMPROVEMENT OF A ROLLER AXLE BOX OF THE FREIGHT CAR

Borodin Anatoly Vasilievich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr.Sci.Tech., professor, head of the chair «Theory of mechanisms and machine elements».

Phone: (3812) 31-06-18.

E-mail: tmdm@omgups.ru

Kulinich Evgenie Nikolaevich

Cand.Tech.Sci., professor of the chair «Cars and a carload economy», OSTU.

Phone: (3832) 29-48-36.

Ivanova Yulia Alekseevna

The teacher of chair «Theory of mechanisms and machine elements», OSTU.

Phone:(3812) 31-06-18.

E-mail: Ivanovatmdm@mail.ru

In article the urgency of acceptance of measures for decrease in quantity of malfunctions of roller axle boxes of freight cars is proved. The advanced design of the axle box providing rational perception of combined loading that leads to substantial improvement of operating conditions of bearings and increase of their resource is offered.

Keywords: axle box, bearing, roller, resource, carrying capacity.

УДК 621.436:629.424.1

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ВИБЕ

Володин Александр Иванович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Первый проректор, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Локомотивы».

Тел.: (3812) 31-34-17.

Сковородников Евгений Иванович

Доктор технических наук, профессор кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-17, (3812) 68-45-08.

АННОТАЦИИ

E-mail: skov1945@mail.ru

Анисимов Александр Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-17.

Рассматривается математическая модель теплового расчета дизельного двигателя методом Вибе. Приведен алгоритм последовательности вычислений. Проведено сравнение полученных в результате моделирования данных с опытными значениями. Рассмотрено влияние доли сгоревшего топлива на индикаторные и эффективные показатели работы дизеля.

Ключевые слова: тепловой расчет, дизельный двигатель, метод Вибе, доля сгоревшего топлива, индикаторные и эффективные показатели.

ESTIMATION OF ADEQUACY OF MATHEMATICAL MODEL THERMAL CALCULATION OF THE DIESEL ENGINE BY METHOD VIBE

Volodin Alexander Ivanovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

The first pro-rector, Dr.Sci.Tech., professor, head of the chair «Locomotives».

Phone: (3812) 31-34-17.

Skvorodnikov Evgenie Ivanovich

Dr.Sci.Tech., professor of the chair «Locomotives», OSTU.

Phone: (3812) 31-34-17, (3812) 68-45-08

E-mail: skov1945@mail.ru

Anisimov Alexander Sergeevich

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Locomotives», OSTU.

Phone: (3812) 31-34-17.

The mathematical model of thermal calculation of the diesel engine is considered by method Wibe. The algorithm of sequence of calculations is resulted. Comparison of the data received as a result of modelling with skilled values is spent. Influence of a share of the burnt down fuel on display and effective an indicator of work of a diesel engine is considered.

Keywords: thermal calculation, the diesel engine, method of Vibe, share of the burnt down fuel, display and effective indicators.

УДК 629.4.083:543.423.1

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ТРАНСПОРТЕ И В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кузнецов Андрей Альбертович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника».

Тел.: (3812) 31-06-88.

АННОТАЦИИ

E-mail: kuznetsovaa@omgups.ru

Глазырин Андрей Васильевич

Аспирант кафедры «Теоретическая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-88.

E-mail: scuthevolver@mail.ru

Шахов Андрей Владимирович

Аспирант кафедры «Теоретическая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-88.

E-mail: shahovav@omgups.ru

В данной работе рассмотрены вопросы совершенствования автоматизированных систем атомно-эмиссионного спектрального анализа для контроля качества материалов на транспорте и в промышленности. Предлагаются пути повышения точности, достоверности и расширения традиционного назначения таких систем за счет совершенствования программного обеспечения на основе запатентованных способов и устройств.

Ключевые слова: контроль качества материалов, подвижной состав, атомно-эмиссионный спектральный анализ, автоматизированные системы.

INNOVATIVE TECHNOLOGY IN TRANSPORT AND INDUSTRY AUTOMATED QUALITY CONTROL SYSTEMS FOR MATERIALS

Kuznetsov Andrey Albertovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr.Sci.Tech., associate professor, head of the chair «Theoretical the electrical engineer»

Phone: (3812) 31-06-88

E-mail: kuznetsovaa@omgups.ru

Glazirin Andrey Vasilievich

The post-graduate student of the chair «Theoretical the electrical engineer », OSTU.

Phone: (3812) 31-06-88

E-mail: scuthevolver@mail.ru

Shahov Andrey Vladimirovich

The post-graduate student of the chair «Theoretical the electrical engineer», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-88

E-mail: shahovav@omgups.ru

In this paper is considered address issues to improve the automated systems of atomic emission spectral analysis for quality control of materials for transport and industry. The ways to improve the accuracy, reliability, and expansion of the traditional purpose of such systems by improving the software based on proprietary methods and devices.

Keywords: quality control of materials, rolling stock, atomic emission spectral analysis, automated systems.

УДК 629.424.1

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГРАФ-МОДЕЛЬЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ

Михеев Владислав Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Программист кафедры «Локомотивы».

Тел.: (3812) 30-27-68.

E-mail: Micheev_V_A@mail.ru

В статье рассмотрен подход к моделированию функциональных систем тепловозного дизеля, основанный на использовании аппарата теории графов. Представлены результаты поэтапного моделирования системы воздухоснабжения тепловозного дизеля.

Ключевые слова: тепловозный дизель; моделирование; граф-модель.

REPRESENTATION BY GRAPH-MODEL OF FUNCTIONAL SYSTEMS OF A DIESEL LOCOMOTIVE ENGINE

Mikheyev Vladislav Aleksandrovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Programmer of chair «Locomotives».

Phone: (3812) 30-27-68.

E-mail: Micheev_V_A@mail.ru

In article the approach to modeling functional systems of a diesel locomotive engine based on use of the graph theory device is considered. Results of stage-by-stage modeling of pressurization system of a diesel locomotive engine are presented.

Keywords: diesel locomotive engine; modeling; graph-model.

УДК 621.81.002:621.9.65.015

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПРИ РЕМОНТЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Ражковский Александр Алексеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения».

Тел.: (3812) 311-811, 363-116.

Петракова Анна Геннадьевна

Кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 311-811, 363-116.

E-mail: petra-anna@yandex.ru

АННОТАЦИИ

Бунькова Тамара Геннадьевна

Аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 311-811, 363-116.

Статья посвящена развитию входного контроля качества объектов железнодорожного транспорта. Оптимизация последовательности действий этапов контроля позволит упростить механизм определения качества, а также определить ресурс объекта контроля.

Ключевые слова: *твердость, ресурс, входной контроль качества.*

TECHNOLOGICAL PROCESS OF QUALITY ASSURANCE OF PRODUCTION AT ROLLING STOCK REPAIR

Razhkovskiy Aleksandr Alekseevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Technology of transport mechanical engineering and repair of a rolling stock».

Phone: (3812) 311-811, 363-116.

Petrakova Ann Gennadevna

Cand.Tech.Sci.,the teacher of chair «Cars and carload economy», OSTU.

Phone: (3812) 311-811, 363-116.

E-mail: petra-anna@yandex.ru

Bunkova Tamara Gennadevna

The post-graduate student of chair «Technology of transport mechanical engineering and repair of a rolling stock», OSTU.

Phone: (3812) 311-811, 363-116.

Clause is devoted to development of entrance quality assurance of objects of a railway transportation. The optimum sequence of actions of the operator which allows to simplify the mechanism of definition on quality is developed, and also to define a resource of object of the control.

Keywords: *hardness, resource, entrance quality assurance.*

УДК 629.424.1: 502.1

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДИЗЕЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Сковородников Евгений Иванович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-17, (3812) 68-45-08.

E-mail: skov1945@mail.ru

Тарута Мария Викторовна

Аспирант кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-23.

АННОТАЦИИ

E-mail: Marta_omgups@mail.ru

Гришина Юлия Борисовна

Аспирант кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-17.

E-mail: gubuly@mail.ru

В статье представлена методика статистической обработки протоколов экологических испытаний тепловозов серии ЧМЭ3. Представлен алгоритм, дающий возможность оценить полноту сгорания топлива в цилиндре двигателя, что позволит повысить точность оценки термодинамических параметров рабочего цикла дизеля.

Ключевые слова: дизель-генераторная установка, пункт экологического контроля, протокол испытаний, методика обработки, оценка качества сгорания топлива.

ANALYS OF QUALITY OF FUNCTIONING OF SYSTEM OF ECOLOGICAL MONITORING OF A DIESEL ROLLING STOCK IN CONDITIONS OF EXPLOITATION

Skovorodnikov Evgenie Ivanovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr.Sci.Tech., professor of the chair «Locomotives».

Phone: (3812) 31-34-17, (3812) 68-45-08.

E-mail: skov1945@mail.ru

Taruta Maria Viktorovna

The post-graduate student of chair «Locomotives», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-23.

E-mail: Marta_omgups@mail.ru

Grishina Julia Borisovna

The post-graduate student of chair «Locomotives», OSTU.

Phone: (3812) 31-34-17.

E-mail: gubuly@mail.ru

In article it is presented the methods of statistical processing of reports of ecological tests of diesel locomotives of series CME 3. Also it is presented the algorithm, which allows estimating completeness of combustion of fuel in the engine cylinder, which will allow raising accuracy of an estimation of thermodynamic variables of work cycle of diesel.

Keywords: diesel engine-generating installation; point of the ecological control; test report; processing technique; estimation of quality of combustion offuel.

УДК 621.914.7

УСТАНОВКА ДЛЯ РЕМОНТА КОЛЛЕКТОРОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Чегодаев Федор Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и системы управления».

Тел.: (3812) 31-05-89.

АННОТАЦИИ

Рассматриваются пути построения станка для ремонта коллекторов тяговых двигателей. Отмечается, что существующие способы реализации данной задачи не обеспечивают достаточной точности и технологичности процесса ремонта. Предлагается способ построения установки для ремонта коллекторов тяговых двигателей на основе замкнутой системы автоматического управления с вихревоковым датчиком, имеющим статическую характеристику в виде нечетной функции, а также реализация безлюфтового привода поворота якоря на основе фрикционной передачи.

Ключевые слова: тяговый электродвигатель, коллектор, вихревоковый датчик, фрикционная передача.

INSTALLATION FOR REPAIR OF COLLECTORS OF TRACTION ENGINES

Chegodaev Feodor Vasilevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Automatics and control systems».

Phone: (3812) 31-05-89.

Ways of construction of the machine tool for repair of collectors of traction engines are considered. It is noticed that existing ways of realisation do not provide sufficient accuracy and adaptability to manufacture. Realisation on the basis of the closed system of automatic control with the gauge having the static characteristic in the form of odd function is offered. Realisation a drive of turn of an anchor on the basis of a friction gear is offered also.

Keywords: traction electric motor, collector, tufttokovyj the gauge, friction gear.

УДК 621.18(075.8)

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКЕ КОТЛОАГРЕГАТА ПРИ УСЛОВИИ СБРОСА В НЕЕ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ведрученко Виктор Родионович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-23.

E-mail: VedruchenkoVR@omgups.ru

Крайнов Василий Васильевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-23.

E-mail: KrainovVV@omgups.ru

Кульков Михаил Витальевич

Аспирант кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-23.

В статье предлагается методика расчета теплообмена в топке котла в условиях сброса в нее отработавших газов газотурбинного двигателя. В результате достижения таких газов в топке котла повышается экономичность всей комбинированной установки, производящей как тепловую, так и электрическую энергию.

Ключевые слова: котельная установка, отработавшие высокотемпературные газы, комбинированная установка, теплота сгорания.

CALCULATION OF THE BOILER HEAT EXCHANGING WITH CONDITION OF DISCHARGED GAS OF GAS TURBINE ENGINE VENTING TO IT

Vedruchenko Victor Rodionovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr.Sci.Tech., professor of the chair «Power system».

Phone: (3812) 31-06-23.

E-mail: VedruchenkoVR@omgups.ru

Krajnov Vasily Vasilevich

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Power system», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-23.

E-mail: KrainovVV@omgups.ru

Kulkov Michael Vitalevich

The post-graduate student of chair «Power system», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-23.

In the article proposed the method of calculation of the boiler heat exchanging with condition of discharged gas of gas turbine engine venting to it. As a result of the afterburning such gases in the boiler an economical efficiency of overall combined plant which produce heat and electric power is increasing.

Keywords: boiler, discharged high-temperature gases, combined plant, warmth.

УДК 621.311.22:621.182

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Глухов Сергей Витальевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Преподаватель кафедры «Теплоэнергетика».

Тел.: (3812) 31-06-23.

E-mail: svgluk@mail.ru

Лебедев Виталий Матвеевич

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-23.

E-mail: heatomgups@mail.ru

Рассмотрен существующий уровень потребления тепловой энергии в жилых и общественных зданиях. Предложен метод определения степени эффективности внедрения автоматизированных тепловых пунктов в системах централизованного теплоснабжения крупных городов РФ в зависимости от температурных графиков источников теплоснабжения и климатических условий.

АННОТАЦИИ

Ключевые слова: температурный график, автоматизированный тепловой пункт, энергоэффективность, температура наружного воздуха, стоимость тепловой энергии.

RESEARCH OF DEGREE OF EFFICIENCY OF INTRODUCTION OF AUTOMATIC CONTROL IN HEATING SYSTEMS

Glukhov Sergey Vitalievich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.
The teacher of chair «Power system».
Phone: (3812) 31-06-23.
E-mail: svgluk@mail.ru

Lebedev Vitalij Matveevich

Dr.Sci.Tech., professor, head of chair « Power system», OSTU.
Phone: (3812) 31-06-23.
E-mail: heatomgups@mail.ru

In the article is considered the existing consumption level of thermal energy in inhabited and public buildings. The method of definition of degree of efficiency of introduction of the automated thermal points in systems of the centralized heat supply of big cities of Russian Federation depending on temperature schedules of sources of a heat supply and environmental conditions is offered.

Keywords: the temperature schedule, automated thermal point, power efficiency, temperature of external air, thermal energy cost.

УДК 621.331:621.311.004.18

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПО КОНТРОЛЮ И УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ В ГРАНИЦАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЗЛА ПО ДАННЫМ АСКУЭ

Каштанов Алексей Леонидович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской части.

Тел.: (3812) 44-39-23.

E-mail: KashtanovAL@omgups.ru

Комяков Александр Анатольевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 44-39-23.

E-mail: KomyakovAA@omgups.ru

Норкин Игорь Юрьевич

Инженер научно-исследовательской части, ОмГУПС.

Тел.: (3812) 44-39-23.

Возможности, предоставляемые применением АСКУЭ, широки и часто используются не в полной мере. Обработка и использование информации, получаемой по данным АСКУЭ,

позволяют осуществлять оперативный контроль электропотребления и на основании архива данных за предыдущие периоды с учетом изменения влияющих факторов определять лимиты электропотребления на нетяговые нужды на любой промежуток времени. К потребителю, допускающему превышение лимита, должны применяться управляющие воздействия, направленные на снижение электропотребления и повышение эффективности использования электрической энергии.

Ключевые слова: автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии, удельный расход электроэнергии, управление электропотреблением, железнодорожный узел.

THE AUTOMATED PROGRAM COMPLEX UNDER THE CONTROL AND MANAGEMENT OF THE POWER CONSUMPTION IN BORDERS OF THE RAILWAY JUNCTION ACCORDING TO ASCAE

Kashtanov Alexey Leonidovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Cand.Tech.Sci., the senior scientific employee of a research part.

Phone: (3812) 44-39-23.

E-mail: KashtanovAL@omgups.ru

Komyakov Alexander Anatolevich

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Theoretical the electrical engineer», OSTU.

Phone: (3812) 44-39-23.

E-mail: KomyakovAA@omgups.ru

Norkin Igor Jurevich

The engineer scientific employee of a research part, OSTU.

Phone: (3812) 44-39-23.

The possibilities given by application ASCAE, are wide and are often used not to the full. Processing and use of the information received according to ASCAE, allow to carry out the operative control of a power consumption and on the basis of archive of the data for the previous periods taking into account change of influencing factors to define power consumption limits for not traction needs on any time interval. To the consumer supposing excess of a limit, the operating influences directed on decrease of a power consumption and increase of efficiency of use of electric energy should be applied.

Keywords: automated system of the commercial account of the electric power, specific expense of the electric power, management of a power consumption, railway junction.

УДК 621.331:621.311.4:621.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ПРОВАЛА НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ РЕЗЕРВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Тарута Павел Викторович

Дорожная электротехническая лаборатория Западно-Сибирской железной дороги (ДЭЛ ЗСЖД).

644020, г. Омск, ул. Леконта, 20.

Кандидат технических наук, инженер.

АННОТАЦИИ

Тел.: (3812) 44-27-61.

Карабанов Максим Александрович

Электромеханик, ДЭЛ ЗСЖД.

Тел.: (3812) 44-27-61.

E-mail: zmax04@mail.ru

В статье приведены исследования процесса подключения выпрямительных агрегатов.

Установлено, что в момент подключения возникает бросок тока, который приводит к недопустимой величине провала напряжения на шинах 10 и 0,23 кВ.

Ключевые слова: выпрямительный агрегат, бросок тока намагничивания, провал напряжения, тяговый трансформатор, качество электроэнергии.

THE EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF DIP VOLTAGE IN CONNECTION MOMENT OF RESERVED RECTIFIER

Taruta Pavel Viktorovich

Electrotechnical laboratory of Western Siberian railway

20, Lekonta st., Omsk, 644020, Russia.

Cand.Tech.Sci., engineer.

Phone: (3812) 44-27-61.

Karabanov Maxim Alexandrovich

Electrician of electrotechnical laboratory of Western Siberian railway.

Phone: (3812) 44-27-61.

E-mail: zmax04@mail.ru

The authors produce the results of experimental research connection rectifier process. Current surge arise in connection moment the rectifier that cause brownout below minimum permissible value on wires 10 kV and 0,23 kV.

Keywords: rectifier, current surge arise, dip voltage, traction-feeding transformer, power quality.

УДК 004.62:510.8:517.98

АДЕКВАТНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНАЛОГИЙ В ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

Грицутенко Станислав Семенович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы передачи информации».

Тел.: +960-9838-111.

E-mail: st256@mail.ru

В статье рассматриваются проблемы, возникающие при переходе от работы с аналоговыми сигналами к сигналам, представленным в дискретной форме, а также спектры функций и последовательностей и линейность фазы фильтров с конечной импульсной характеристикой. Предлагаются критерии аналогичности в широком и узком смыслах, на ба-

зе которых решаются проблемы аналогий. В конце статьи вводится модифицированная дельта-функция.

Ключевые слова: *ДПФ, КИХ-фильтр, интерполяция, дельта-функция, принцип причинности.*

ADEQUACY OF USING ANALOGIES IN DIGITAL SIGNAL PROCESSING

Gritsutenko Stanislav Semenovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Information transfer system».

Phone: +960-9838-111.

E-mail: st256@mail.ru

Some problems that appear when we pass from analog processing to digital processing are discussed in this article. Spectrums of functions and sequences are considered. The phase linearity of finite impulse response filter is studied. Wide and narrow criterions of isomorphism are instituted. Modified delta function is instituted.

Keywords: *DFT, FIR, interpolation, Delta function, causality principle.*

УДК 681.3.06+519.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РАДИОСТАНЦИЙ В СРЕДЕ ANYLOGIC

Лутченко Сергей Святославович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехнические и управляемые системы».

Тел.: (3812) 31-16-72.

E-mail: lutchenko_s@inbox.ru

Копытов Евгений Юрьевич

Аспирант, инженер кафедры «Радиотехнические и управляемые системы», ОмГУПС.

Тел.: 8-962-039-90-62.

E-mail: e.kopytov@gmail.com

В статье рассматривается одна из актуальных проблем – определение реальных сроков между обслуживанием изделий технологической радиосвязи. Исследована модель определения оптимального времени между техническим обслуживанием изделий технологической радиосвязи. Проведена разработка модели процессов технического обслуживания радиостанций в среде AnyLogic.

Ключевые слова: *надежность, моделирование, математическая модель, интенсивность отказов, техническое обслуживание, AnyLogic.*

АННОТАЦИИ

SIMULATION PROCESSES MAINTENANCE RADIO STATIONS IN ENVIRONMENT ANYLOGIC

Lutchenko Sergey Svyatoslavovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Rdio engineering and operating systems».

Phone.: (3812) 31-16-72.

E-mail: lutchenko_s@inbox.ru

Kopytov Eugene Jurevich

The post-graduate student, engineer of chair «Radio engineering and operating systems», OSTU.

Phone: 8-962-039-90-62.

E-mail: e.kopytov@gmail.com

In article one of actual problems – definition of real terms between service of products of a technological radio communication is considered. The model of definition of optimum time between maintenance service of products of a technological radio communication is investigated. Working out of model of processes of maintenance service of radio stations in the environment of AnyLogic is spent.

Keywords: reliability, simulation, mathematical model, failure rate, maintenance, AnyLogic.

УДК 351.86:656.2

ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАЩИТЫ КРУПНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ

Поздеев Василий Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Начертательная геометрия и инженерная графика».

Тел.: (3812)31-18-27.

Крупные железнодорожные узлы являются важными государственными стратегическими объектами страны, защиты которых направлена на максимальное снижение прогнозируемых людских и экономических потерь в военное время, а также при возникновении различного рода чрезвычайных ситуаций в мирное время. Предложены организационные и инженерно-технические мероприятия по повышению степени устойчивости защиты крупных железнодорожных узлов, приведены рекомендации по направлению опытных исследований вопросов изучения возможных аварийных ситуаций, их влияния на степень защищенности объекта и их инженерно-технические решения.

Ключевые слова: защита, прогнозирование, аварийная ситуация, дублирование, рассредоточение, динамические нагрузки, защитные сооружения, организационные мероприятия, инженерно-технические мероприятия.

PROTECTION RATE INCREASING OF BIG RAILWAY UNITS

Pozdeev Vasily Vasilievich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Descriptive geometry and engineering drawing».

Phone: (3812)31-18-27.

Big railway units are the important state strategic objects, protection of those is make deal with maximum decreasing of predicted human and economical losses at wartime and at various state emergencies of peacetime. Organization and engineering-technical actions are proposed for protection state increasing of big railway units, recommendations are shown for experiments directions of possible emergency aerials studying, their influence on protection rate and those engineering-technical solving.

Keywords: protection, prediction, emergency aerial, duplication, dispersal, dynamic load, guard construction, organization actions, engineering-technical actions.

УДК 629.423:629.4.016.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ТРАНССИБИРСКОЙ МАГИСТРАЛИ

Бакланов Александр Алексеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог».

Тел.: (3812) 31-34-19, 44-36-62.

E-mail: BaklanovAA@omgups.ru

Мельк Владимир Оскарович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-19, 44-36-62.

Раздобаров Алексей Васильевич

Старший преподаватель кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-19, 44-36-62.

Рассмотрены результаты научных исследований по повышению эффективности и надежности электроподвижного состава на Транссибирской магистрали.

Ключевые слова: электровоз, энергозатраты, рекуперативное торможение, система управления, надежность, поезд повышенной массы, испытания, подготовка специалистов.

ENHANCEMENT OF OPERATING EFFICIENCY AND RELIABILITY OF ELECTRIC TRAINS ON THE TRANS-SIBERIAN RAILWAY

Baklanov Alexander Alexeevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair « Rolling stock of electric railways ».

Phone: (3812) 31-34-19, 44-36-62.

E-mail: BaklanovAA@omgups.ru

АННОТАЦИИ

Melk Vladimir Oskarovich

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Rolling stock of electric railways», OSTU.

Phone: (3812) 31-34-19, 44-36-62.

Razdobarov Alexey Vasilyevich

The senior teacher of chair «Rolling stock of electric railways», OSTU.

Phone: (3812) 31-34-19, 44-36-62.

Considered results of scientific investigations of enhancement of operating efficiency and reliability of electric trains on the Trans-Siberian Railway.

Keywords: *electric locomotive, power inputs, regenerative braking, control system, reliability, higher mass train, tests, training of specialists.*

УДК 656.212.6.073.22

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПЕРЕВОЗОК МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Корнеев Максим Владимирович

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС).
630023, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав».

Тел.: (383)-328-06-66.

E-mail: korney@cn.ru

Хорунжин Сергей Юрьевич

Инженер-технолог НИЛ «ДЦГР», СГУПС.
Тел.: (383)-328-06-66, 8-923-222-51-71.
E-mail: khorunhinsu@mail.ru

Статья предназначена для организаций и частных лиц, связанных с перевозкой металлокомплектации железнодорожным транспортом.

Ключевые слова: *размещение и крепление груза, схема погрузки, металлокомплектация, профиль сортовой стали.*

PERFECTION OF CONDITIONS OF TRANSPORTATIONS OF METAL PRODUCTS BY RAIL

Korneyev Maxim Vladimirovich

Siberian Transport University (STU).
191, D. Kovalchuk st., Novosibirsk, 630023, Russia.
Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of the chair of chair «Logistics, commercial work and rolling stock».

Phone: (383)-328-06-66.

E-mail: korney@cn.ru

Khorunhin Sergey Jurevich

The process engineer NIL «DCGR», STU.
Phone: (383)-328-06-66, 8-923-222-51-71.
E-mail: khorunhinsu@mail.ru

АННОТАЦИИ

Article is intended for the organisations and the private persons connected with transportation of metal products by rail.

Keywords: placing and cargo fastening, the loading scheme, metal products, hire of a high-quality steel.

УДК 629.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НЕОБРЕССОРЕННЫХ МАСС ПО ПУТИ СО СЛУЧАЙНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕРОВНОСТЬЮ РЕЛЬСА

Нехаев Виктор Алексеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика».

Тел.: (3812) 31-16-88.

E-mail: nehaevVA@omgups.ru

Николаев Виктор Александрович

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-16-88.

E-mail: nikolaevVA@omgups.ru

Смалев Александр Николаевич

Аспирант, преподаватель кафедры «Теоретическая механика», ОмГУПС.

Тел.: (960) 994-81-39.

E-mail: SmalevAN@yandex.ru

В статье рассматривается движение необрессоренных масс экипажа с учетом кинематических свойств пути. Геометрическая неровность рельса принята в виде случайного процесса, спектральная плотность которого зависит от скорости движения. Проведена оценка статистических характеристик вертикальных колебаний колесной пары и сил, возникающих в зоне контакта колеса и рельса.

Ключевые слова: необрессоренная масса, геометрическая неровность, спектральная плотность, среднеквадратическое отклонение, вертикальные колебания, реакция рельса.

ANALYSIS OF MOTION OF UNSPRUNG MASS ON A RAIL TRACK WITH STOCHASTIC RAILWAY GEOMETRIC IRREGULARITY

Nehaev Victor Alekseevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Dr.Sci.Tech., professor of the chair «Theoretical mechanics».

Phone: (3812) 31-16-88.

E-mail: nehaevVA@omgups.ru

Nikolaev Victor Aleksandrovich

Dr.Sci.Tech., professor of the chair «Theoretical mechanics», OSTU.

Phone: (3812) 31-16-88.

E-mail: nikolaevVA@omgups.ru

АННОТАЦИИ

Smalev Alexander Nikolaevich

The post-graduate student, teacher of chair « Theoretical mechanics », OSTU.

Phone: (960) 994-81-39

E-mail: SmalevAN@yandex.ru

In article motion of unsprung mass of a locomotive underframe is considered subject to kinematic features of a rail track. Railway geometric irregularity is used as stochastic process with spectral density dependent on velocity of motion. A bound of statistical characteristics of vertical oscillations and forces in a contact zone of a wheel and a rail is carried out.

Keywords: *unsprung mass, geometrical irregularity, spectral density, standard deviation, vertical oscillations, rail response.*

УДК 629.4.083: 65.011.4

АУТСОРСИНГ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Смирнов Виктор Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог».

Тел.: (3812) 31-34-19.

Кузнецов Виктор Федорович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-11.

Семенов Александр Михайлович

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского (ОмГУ).

644077, г. Омск, пр. Мира, 55,а.

Кандидат физико-математических наук, доцент Института математики и информационных технологий.

В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности диагностирования подвижного состава железнодорожного транспорта путем передачи данного вида деятельности сторонним специализированным организациям на условиях аутсорсинга. Предложена методика оценки стоимости аутсорсинговых услуг на основе разработанной модели краткосрочного страхования рисков отрицательных последствий результатов диагностирования.

Ключевые слова: *аутсорсинг, надежность подвижного состава, страховая премия, не-разрушающий контроль.*

OUTSOURCING OF DIAGNOSING OF THE ROLLING STOCK

Smirnov Victor Aleksandrovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Rolling stock of electric railways».

Phone: (3812) 31-34-19.

АННОТАЦИИ

Kuznetsov Victor Fedorovich

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Higher mathematics», OSTU.

Phone: (3812) 31-18-11.

Semenov Alexander Mihajlovich

Omsk state university of a name of F.M.Dostoevsky (OSU).

55-a, Mira av.m Omsk, 644077, Russia.

Cand.Physic. and Mathematic. Sci., the senior lecturer «Institute of mathematics and an information technology».

In article questions of increase of efficiency of diagnosing of a rolling stock of a railway transportation, by transfer of the given kind of activity to the foreign specialised organisations on the terms of outsourcing are considered. The technique of estimation of cost аутсорсинговых services on the basis of the developed model of short-term insurance of risks of negative consequences of results of diagnosing is offered.

Keywords: *outsourcing, reliability of a rolling stock, the insurance award, not destroying control.*

УДК 620.9:005.93:502.174

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗАКОНА № 261-ФЗ от 23.11.09 «ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ...» В ХОЛДИНГЕ «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

Черемисин Василий Титович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Проректор по научной работе и инновациям, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Подвижной состав электрических железных дорог».

Тел.: (3812) 31-13-44.

E-mail: nauka@omgups.ru

Никифоров Михаил Михайлович

Кандидат технических наук, начальник научно-производственной лаборатории «Энергосберегающие технологии и электромагнитная совместимость», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 44-39-23.

E-mail: nikiforovmm@rambler.ru

В статье рассматриваются основные направления реализации федерального закона № 261-ФЗ от 23.11.09 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» в холдинге «Российские железные дороги». Раскрываются основные задачи по повышению эффективности использования энергоресурсов на тягу поездов и нетяговые нужды и предлагаются пути их реализации.

Ключевые слова: *энергосбережение, энергетическая эффективность, энергетическое обследование, учет энергоресурсов.*

АННОТАЦИИ

THE BASIC DIRECTIONS OF REALIZATION OF THE FEDERAL LAW «ABOUT POWER SAVINGS ...» FROM 23.11.09 № 261-FZ IN HOLDING «RUSSIAN RAILWAYS»

Cheremisin Vasily Titovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Pro-rector on scientific work and innovations, Dr.Sci.Tech., professor, head of the chair «Rolling stock of electric railways».

Phone: (3812) 31-13-44.

E-mail: nauka@omgups.ru

Nikiforov Michael Mihajlovich

Cand.Tech.Sci., the chief of research-and-production laboratory «Power-saving up technologies and electromagnetic compatibility», OSTU.

Phone: (3812) 44-39-23.

E-mail: nikiforovmm@rambler.ru

In article the basic directions of realisation of the Federal Law «About power savings and about increase of power efficiency and about modification of separate acts of the Russian Federation» № 261-FZ in holding «Russian railways» are considered from 23.11.09. The primary goals on increase of efficiency of use of power resources on draught of trains and not traction needs reveal and ways of their realisation are offered.

Keywords: *power savings, power efficiency, power inspection, the account of power resources.*

Уважаемые коллеги!

Редакция научно-технического журнала «Известия Транссиба» приглашает Вас публиковать результаты научных исследований по тематическим направлениям журнала:

- подвижной состав железных дорог;
- транспортная энергетика;
- информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации;
- путь и искусственные сооружения;
- управление перевозочными процессами и безопасность движения поездов;
- организация производства на транспорте.

Материалы просим высылать ответственному секретарю редакционной коллегии журнала Комяковой Ольге Олеговне по электронной почте: izvestia_transsiba@mail.ru

Правила представления рукописей научных статей в научно-технический журнал «Известия Транссиба»

В редакцию предоставляются:

текст статьи на белой бумаге формата А4 в 2 экз., а также в электронном виде (на любом носителе или по e-mail), имя файла определяется по фамилии первого автора: фамилия.doc;

название статьи, аннотация, ключевые слова, название тематического раздела журнала, в который представляется статья (в отдельном файле – на русском и английском языках);

сведения об авторах в отдельном файле на русском и английском языках (фамилия, имя, отчество, ученая степень и звание, место работы с указанием почтового адреса, должность, контактные телефоны, e-mail для обратной связи);

один экземпляр текста статьи должен быть подписан всеми авторами.

Требования к рукописи статьи:

рукопись статьи должна содержать УДК (в левом верхнем углу, обычный, 12 пт), инициалы и фамилию (по центру, 11 пт), название статьи (по центру, прописными буквами, полужирный, 12 пт), аннотацию на русском языке (курсив, по ширине, 10 пт);

текст статьи должен быть набран в редакторе Word, размер страницы: формат А4 (210 × 297 мм); размер полей: 20 мм (все четыре поля), размер и тип шрифта основного текста: Times New Roman, 12 пт;

размеры символов в формулах (Equation): обычный – 12 пт, крупный индекс – 7, мелкий – 5, крупный символ – 15, мелкий – 12 пт;

буквы латинского алфавита набираются курсивом, буквы греческого и русского алфавита, математические символы такие, например, как cos, sin, max, min, – прямым шрифтом;

текст в таблицах, подрисуночные подписи и названия таблиц набираются шрифтом Times New Roman, 10 пт;

межстрочный интервал одинарный, абзацный отступ – 0,75 см;

каждый рисунок дополнительно должен быть представлен в оригинальном файле (формат JPEG или TIFF, разрешение – не ниже 300 пикс/дюйм);

рисунки, выполненные в редакторе Word, должны быть вставлены как объект;

ссылки на литературу в тексте статьи указываются в квадратных скобках, список литературы имеет заголовок *Список литературы* (не более 10 наименований), библиографическое описание источников оформляется по требованиям ГОСТ 7.1-2003.

Рукописи статей, опубликованных ранее или переданных в другие издания, не принимаются.

Число соавторов не должно превышать трех человек. Рекомендуемый объем статьи – не менее пяти и не более 10 страниц. В ином случае вопрос по объему статьи необходимо согласовать с редакцией журнала. Иллюстрации, схемы, таблицы, включаемые в текст статьи, учитываются в общем объеме текста.

Авторы должны избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, на графиках и в тексте статьи.

В случае представления двух или более статей одновременно необходимо указывать желательную очередность их публикации.

В случае возвращения статьи автору для устранения замечаний или для ее сокращения датой представления считается день получения редакцией журнала окончательного текста.

Принятые к публикации рукописи статей не возвращаются авторам.

Материалы, оформленные не в соответствии с указанными выше требованиями, не принимаются к публикации и не возвращаются.

По всем вопросам, связанным с подготовкой, представлением и публикацией материалов, необходимо обращаться в редакцию.

Редколлегия оставляет за собой право литературной редакции содержания статьи без согласования с авторами.

Научное издание

Научно-технический журнал «Известия Транссиба»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Авилов Валерий Дмитриевич – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Бородин Анатолий Васильевич – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Ведрученко Виктор Родионович – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Горюнов Владимир Николаевич – д.т.н., ОмГТУ (Омск);
Гончар Игорь Иванович – д.ф.-м.н., ОмГУПС (Омск);
Демин Юрий Васильевич – д.т.н., НГАВТ (Новосибирск);
Ермоленко Дмитрий Владимирович – д.т.н., ВНИИЖТ (Москва);
Исмаилов Шафигула Калимуллович – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Кандаев Василий Андреевич – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Костюков Владимир Николаевич – д.т.н., НПЦ «Динамика» (Омск);
Кузнецов Андрей Альбертович – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Лебедев Виталий Матвеевич – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Маслов Геннадий Петрович – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Медведев Владимир Ильич – д.т.н., СГУПС (Новосибирск);
Митрохин Валерий Евгеньевич – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Мочалин Сергей Михайлович – д.т.н., СибАДИ (Омск);
Нехаев Виктор Алексеевич – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Николаев Виктор Александрович – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Овчаренко Сергей Михайлович – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Парамонов Александр Михайлович – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Рауба Александр Александрович – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Сафонов Эдуард Алексеевич – д.т.н., СибАДИ (Омск);
Сидоров Олег Алексеевич – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Сидорова Елена Анатольевна – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Сквородников Евгений Иванович – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Харlamov Виктор Васильевич – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Четвергов Виталий Алексеевич – д.т.н., ОмГУПС (Омск);
Шпалтаков Владимир Петрович – д.э.н., ОмГУПС (Омск).

Компьютерная верстка – Комякова О. О.

Редактор – Майорова Н. А.

Научно-технический журнал «Известия Транссиба» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 3 июня 2009 г.

Свидетельство о регистрации – ПИ № ФС77-36469.

Адрес редакции: 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35;
тел./факс: (3812) 31-05-54; e-mail: izvestia_transsiba@mail.ru

Подписано в печать 17.06.2010.

Тираж 500 экз.