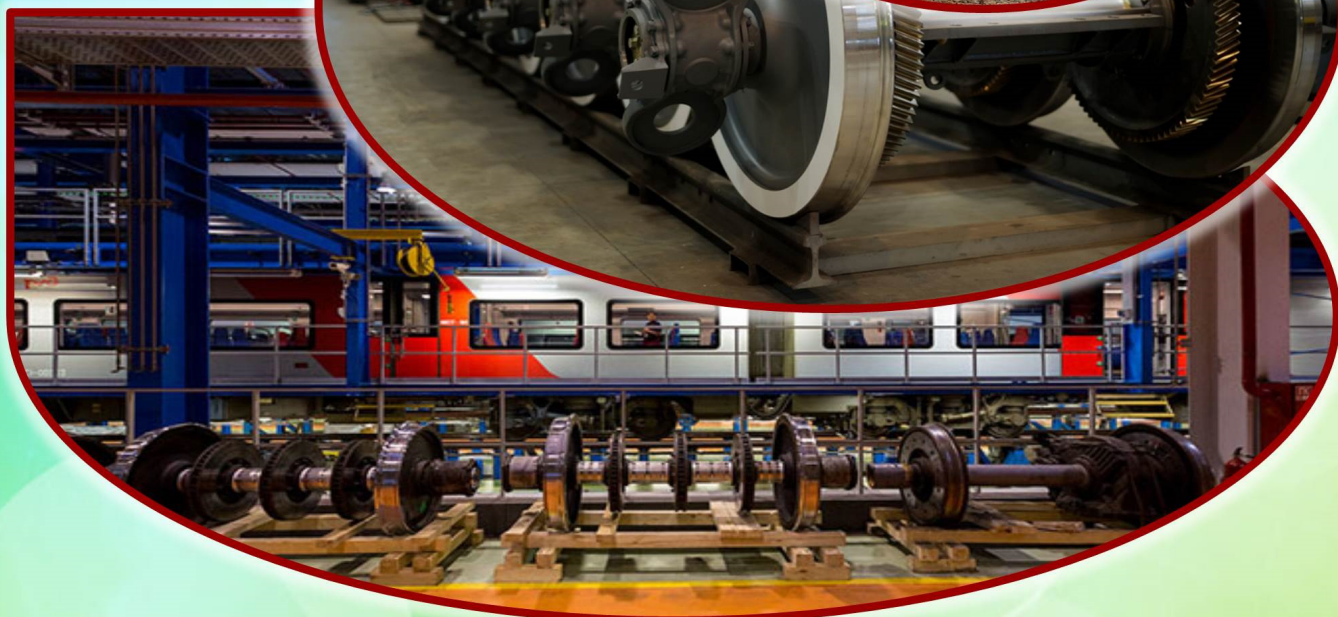




Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Омский государственный университет
путей сообщения

Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава



Омск 2017

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Омский государственный университет путей сообщения

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕМОНТА И ПОВЫШЕНИЕ
ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Материалы IV всероссийской
научно-технической конференции с международным участием

(9 ноября 2017 г.)

Омск 2017

УДК 629.488; 629.4.015
ББК 39.2

Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы IV всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2017. 368 с.

В сборник вошли статьи с результатами исследований, выполненных по ряду научных направлений, посвященных технологическому обеспечению технического обслуживания и ремонта локомотивов и вагонов, их эксплуатационной надежности, динамике и безопасности, диагностированию технического состояния и энергоэффективности технологических процессов при ремонте подвижного состава.

Представленные в сборнике материалы могут быть использованы при модернизации существующих и создании новых типов и серий подвижного состава для железнодорожного транспорта, совершенствовании технологий его технического обслуживания и ремонта, повышении эксплуатационной надежности и работоспособности локомотивов и вагонов.

Сборник может быть полезен для научных сотрудников и специалистов, работающих в области железнодорожного подвижного состава.

Библиогр. 213 назв. Табл. 31. Рис. 154.

Редакционная коллегия:

доктор техн. наук, профессор И. И. Галиев (отв. редактор);
доктор техн. наук, доцент С. М. Овчаренко;
доктор техн. наук, профессор В. Т. Черемисин;
доктор техн. наук, профессор В. А. Четвергов;
доктор техн. наук, доцент С. Г. Шантаренко (зам. отв. редактора).

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор В. А. Аксенов;
доктор техн. наук, профессор А. П. Моргунов.

ISBN 978-5-949-41182-7

© Омский гос. университет
путей сообщения, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Технологическое обеспечение технического обслуживания и ремонта локомотивов и вагонов

К. В. Аверков, Т. Г. Бунькова, Д. С. Макашин. Оптимизация технологического процесса ремонта колесных пар.....	7
М. Ф. Капустьян, О. П. Супчинский, В. П. Кулаковская. Оценка технического состояния подвижного состава на основе интегрального показателя качества.....	13
В. А. Михеев, О. С. Томилова. Оперативная оценка технического состояния подсистем дизельной энергетической установки.....	18
Р. Ю. Якушин, Д. В. Балагин. Повышение эффективности использования маневровых тепловозов за счет применения бустерной секции.....	26
Д. В. Муравьев. Исследование качества материала литых деталей тележки грузового вагона.....	32
В. А. Смирнов, К. В. Панов. Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки вагонов подвижного состава.....	42
М. И. Бисерикан, Ю. С. Хабибулина. Повышение качества ремонта колесных пар с контактно-усталостными повреждениями поверхности катания.....	47
Р. А. Ахмеджанов, Ф. В. Чегодаев, М. В. Катин. Широкозахватный накладной вихретоковый преобразователь.....	56
А. В. Литвинов, Е. Г. Абишов, Д. Е. Родина. Предложения по модернизации пропиточно-сушильного отделения сервисного локомотивного депо Московка.....	61
А. Н. Головаш, Н. Б. Куршакова. К вопросу о содержании терминов и определений, связанных с качеством производства продукции, работ и услуг в локомотивном хозяйстве.....	67
Ю. С. Дегтярёв, В. Н. Пустовой, И. К. Лакин. Технология «Индустрия 4.0» в сервисных локомотивных депо группы компаний ЛокоТех.....	74
В. Т. Черемисин, И. В. Пустовой. Разработка информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов.....	79
А. В. Клюканов. Бесконтактное разрыхление угольно-ледяного монолита при экипировке пассажирских вагонов.....	83

С. Галбадрах. Анализ надежности дизелей 16ЧН26/26, установленных на тепловозах 2ТЭ116УМ, эксплуатируемых в Монголии.....	88
К. И. Доманов. Проблемы сервисного обслуживания электровозов серии 2ЭС6 и мероприятия направленные на повышение технологии их ремонта.....	97

Эксплуатационная надежность подвижного состава, динамика и безопасность

И. Г. Аликин, И. С. Синев, И. А. Чубаров, А. В. Чулков. Применение методики обобщенных технико-экономических показателей работы тепловозов в эксплуатации.....	104
С. С. Саркенов. Сравнительный анализ параметров графика движения поездов на расход и потери электроэнергии на тягу поездов на участках с различными типами профиля пути.....	110
В. В. Зубенко, М. О. Скворцов. Проблемы эксплуатационного вагонного депо и пути их решения.....	116
А. А. Рауба, В. В. Дюндин. Обоснование необходимости повышения надежности бандажных колес локомотивов.....	121
В. В. Петров, К. С. Петров, С. А. Ступаков. Интегральная оценка для диагностирования отклонений кинематических параметров вагонной тележки и колесных пар движущегося состава.....	129
Т. В. Васеева, А. В. Александров. Реализация алгоритмов вычисления корреляции для диагностирования подвижного состава методами корреляционного анализа.....	138
Е. П. Челтыгмашев. Повышение уровня безопасности движения порожних вагонов на основе совершенствования рессорного подвешивания тележки.....	143
Д. Ю. Лукс. Мониторинг динамической нагруженности типовых и инновационных вагонов.....	150
О. С. Абляимов, З. З. Ергашев, М. И. Хисматулин. Оценка эффективности использования тепловозов UZTE16M3 на участке Мароканд – Каттакурган в эксплуатации.....	156
О. С. Абляимов, З. З. Ергашев, М. И. Хисматулин. О перевозочной работе электровозов 3ВЛ80 ^С на участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон Темир Йўллари»	163
С. Г. Шорохов, Д. Я. Антипин. Оценка динамической нагруженности пассажирского локомотива при аварийном соударении с препятствием.....	170

О. А. Булавко. Перспективы развития тяжеловесного движения на железных дорогах ОАО «РЖД».....	177
В. А. Нехаев, В. А. Николаев, Е. А. Самохвалов, М. Х. Минжасаров. Анализ динамических свойств буксовой ступени рессорного подвешивания новых локомотивов.....	182
С. Г. Шантаренко, А. А. Бакланов, Е. В. Пономарев, В. А. Тараненко. Конструктивные особенности и эксплуатационная надежность электровозов новых серий.....	189
И. Ю. Ермоленко, В. Н. Железняк. Оценка динамики вагона по анализу параметров поездных испытаний при движении в сложном участке горного рельефа пути ВСЖД.....	198
О. С. Лищенко, В. А. Минаков. Анализ напряженности деталей кривошипно-шатунного механизма в результате взаимодействия сил в цилиндро-поршневой группе и кривошипно-шатунном механизме.....	205
С. В. Швецов, О. В. Гателюк. Особенности устройства и эксплуатации электровозов с позиции надежности.....	209

Диагностирование технического состояния и энергоэффективность при ремонте подвижного состава

В. В. Харламов, П. К. Шкодун, А. С. Огневский. Выбор диагностических параметров для мониторинга состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей подвижного состава.....	217
А. В. Горькин. Оценка остаточного ресурса быстродействующих выключателей на тяговых подстанциях постоянного тока.....	223
К. А. Григорьева. Анализ регуляторов мощности асинхронных вспомогательных машин электроподвижного состава.....	228
А. А. Елизаров. Реализация спектральных методов диагностирования	233
Д. Я. Носырев, А. В. Муратов, Л. С. Курманова, С. А. Петухов. Конвертирование дизелей тепловозов при работе с добавками природного газа.....	240
С. А. Литвин. Обоснование применения независимого возбуждения в режиме тяги на современном тяговом подвижном составе.....	246
А. Л. Мартусов. Линейный преобразователь испытательной станции тяговых электродвигателей подвижного состава.....	252
С. М. Овчаренко, В. А. Минаков. Обработка данных результатов спектрального анализа моторного масла с применением искусственных нейронных сетей.....	258

Ю. В. Москалев. Экспериментальные исследования процессов заряда-разряда литий-титанатного аккумулятора.....	263
А. А. Свечников, И. В. Метальников. Перевод тепловозов на сжиженный природный газ.....	267
В. Ю. Тэттэр, А. Ю. Тэттэр. Вибродиагностическое оборудование подвижного состава – особенности и интеграция в проект «Цифровая железная дорога».....	274
В. В. Харламов, Д. И. Попов, А. П. Афонин. Применение комплексных параметров неидентичности коммутационных циклов для диагностирования состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей.....	286
В. Т. Черемисин, Е. А. Третьяков. Интеллектуальные технологии управления мощностью в системе электроснабжения ремонтных предприятий железных дорог.....	292
В. И. Иванченко, А. А. Комяков, В. В. Эрбес. Разработка устройства контроля времени работы электрооборудования предприятий по ремонту подвижного состава.....	300
С. В. Заренков, А. Ж. Еркебаев. Основные факторы, влияющие на снижение энергоемкости железнодорожного транспорта.....	305
<i>АННОТАЦИИ</i>	310

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ И ВАГОНОВ

УДК 621.91

К. В. Аверков, Т. Г. Бунькова, Д. С. Макашин

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР

В статье рассмотрен технологический процесс обточки колесных пар. Приведены данные статистики по дефектам. Предложен новый инструмент для выполнения обточки. Выполнен анализ напряжений, возникающих в твердосплавных пластинах при обточке.

В процессе эксплуатации на поверхности катания колес возникают различные дефекты. Эти дефекты могут иметь локальный (ползун, выщербина) или распределенный (подрез, тонкий гребень), характер. При этом все колесные пары, находящиеся в эксплуатации можно разделить на две группы: колеса обычной твердости (НВ 255) и повышенной твердости (НВ 360) [1]. Анализ статистики дефектов колесных пар, позволяет сделать вывод, что у колес повышенной твердости преобладающими являются дефекты локального характера (рис. 1 и рис. 2.). У колес обычной твердости чаще встречаются распределенные дефекты. При этом, как правило, локальные дефекты у колес повышенной твердости характеризуются большей глубиной.

Для устранения поверхностных дефектов производится обточка колесных пар на колесотокарных станках. Режимы обточки приведены в таблице 1

Таблица 1

Режимы резания при обточке поверхности катания колес

Обработка	Частота, об/мин	Глубина резания, мм	Подача, мм/об
Черновая	9-10	5-6	2-3
Чистовая	16-17	2-3	2-3

Колеса обтачивают:

– по поверхности катания;

- по гребню;
- по внутренней боковой поверхности (по мере необходимости).

В качестве инструмента для обточки обычно используются стандартные резцы например C1866-281112.287 (рис. 3.) или R/L175.32-5055M (левого и правого исполнения) фирмы «SANDVIK Coromant».

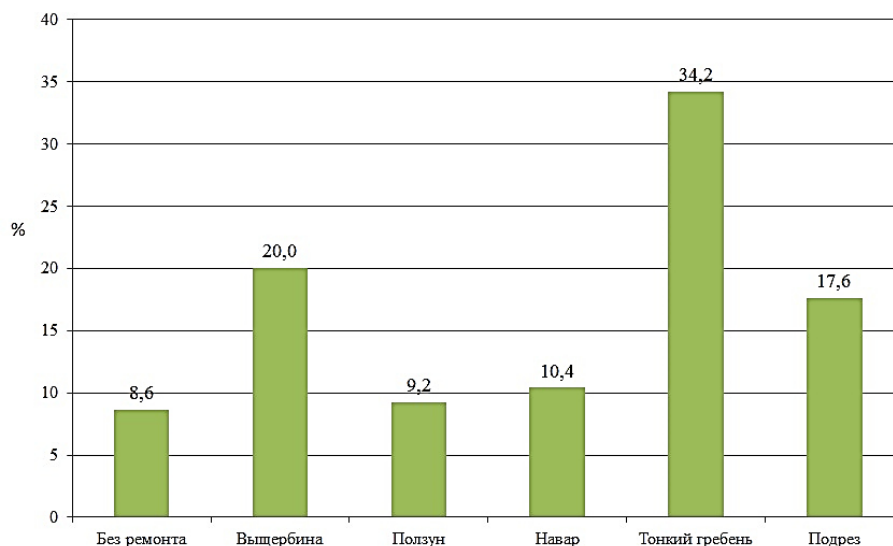


Рис. 1. Статистика дефектов колес обычной твердости

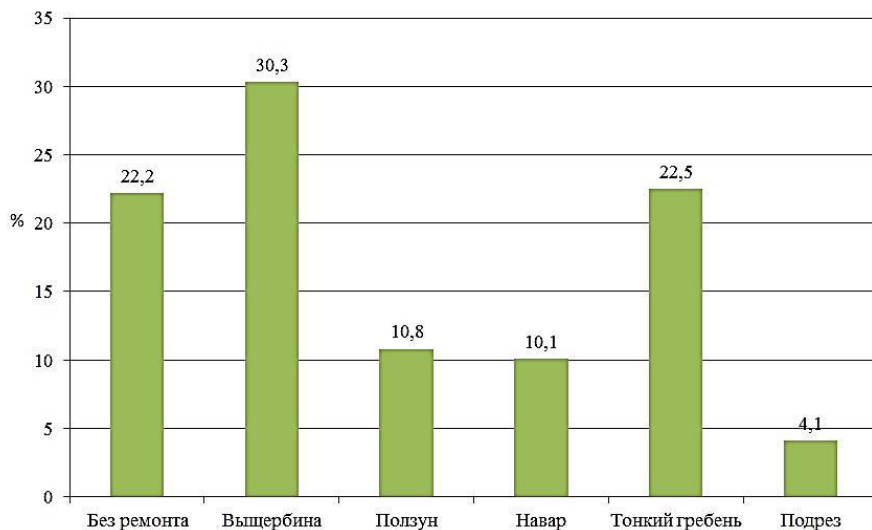


Рис. 2. Статистика дефектов колес повышенной твердости

В качестве режущей части применяются твердосплавные пластины LNUX 301940, изготовленные из сплавов ЖС17, ВТ430, МС221, КС35.

При обработке поверхности катания колеса повышенной твердости с дефектами типа ползунов и выщербин, резец испытывает сильное ударное

воздействие, что снижает его стойкость и повышает расход дорогостоящих твердосплавных пластин.

В качестве альтернативы для обточки поверхности катания колес предлагается конструкция резца, которая позволит вести обработку поверхности катания, используя две режущие пластины (рис. 4).

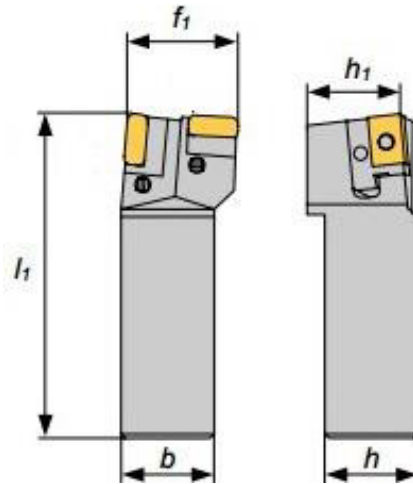


Рис. 3. Резцедержатель двухкассетный С1866-281112.287

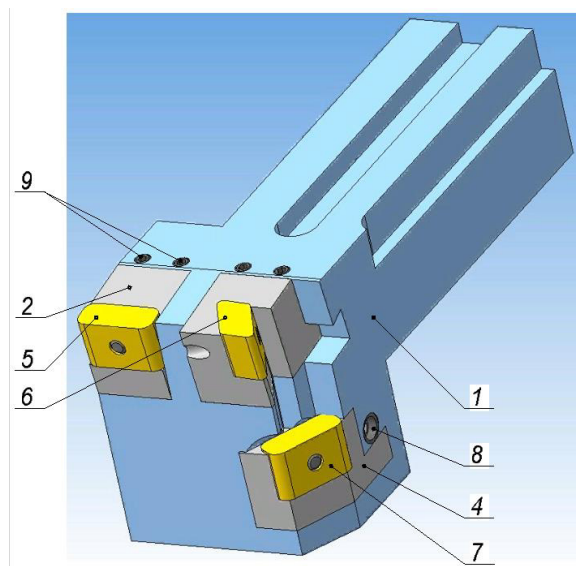


Рис. 4. Предлагаемая конструкция резца для обточки колесных пар:

- 1 – державка; 2 – кассета для обработки гребня; 3 – кассета для верхней пластины;
4 – кассета для нижней пластины; 5 – пластина для обработки гребня; 6 – верхняя пластина;
7 – нижняя пластина; 8 – клин; 9 – винты

Принцип работы резца состоит в следующем. Пластины 6 и 7 предназначены для обточки поверхности катания. Они расположены в вертикальной плоскости одна под другой. Припуск на механическую обработку

обе пластины срезают одновременно, деля его между собой в соотношении 1/3 на верхнюю пластину и 2/3 на нижнюю (рис. 5).

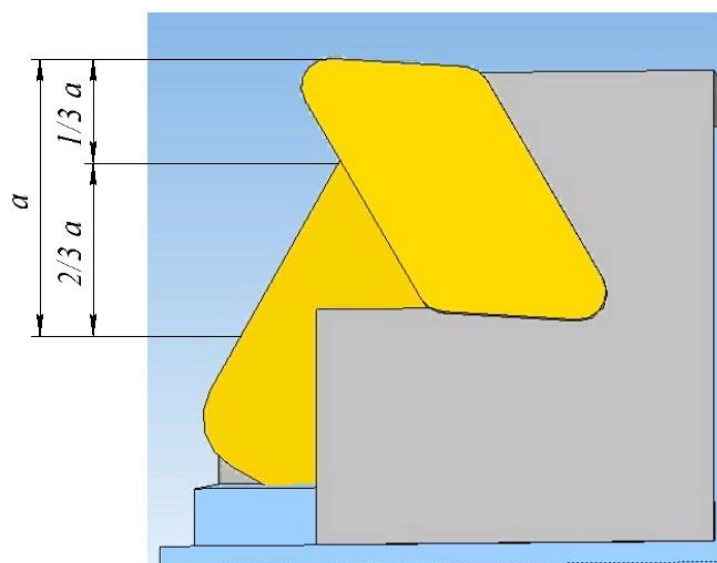


Рис. 5. Срезаемый слой

Тепло, выделяющееся в процессе работы верхней пластины, частично разупрочняет срезаемый слой и снижает твердость термомеханических повреждений на поверхности катания. Кроме того верхняя пластина придает срезаемому слою вид клина, что затрудняет отвод тепла в обрабатываемое колесо и облегчает работу нижней пластины. Верхняя пластина в процессе работы не контактирует непосредственно с термомеханическими повреждениями. В свою очередь нижняя пластина срезает образовавшийся клин вместе с имеющимися на поверхности катания термомеханическими повреждениями. Пластины делят срезаемый припуск между собой, что также облегчает их работу.

Преимущества такой конструкции состоят в следующем:

1. Облегчается удаление термомеханических повреждений;
2. Повышается стойкость инструмента;
3. Снижается расход твердосплавных пластин;
4. Уменьшается себестоимость механической обработки.

Был проведен анализ напряжений, возникающих при выполнении операции обточки с помощью инженерного пакета Autodesk Inventor. Анализ показал, что для твердосплавной пластины резца старой конструкции максимальное напряжение по Мизесу равно 525,7 МПа (рис. 6).

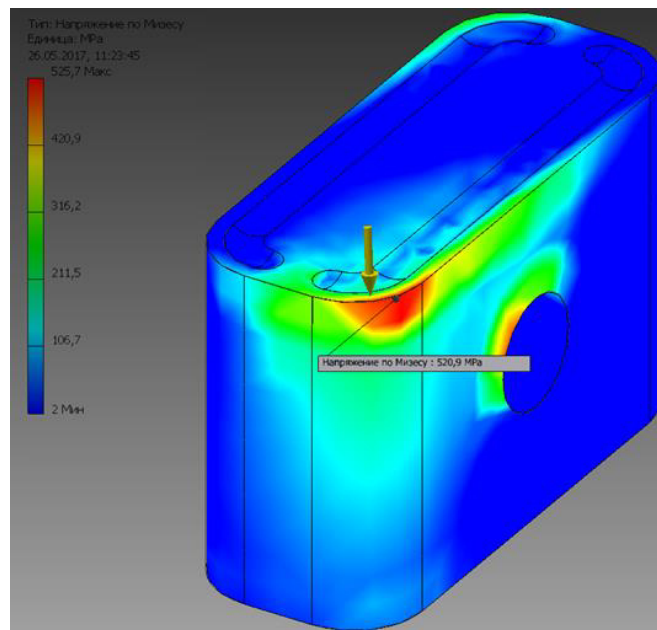


Рис. 6. Анализ напряжений для пластины резца старой конструкции

Для сравнения был проведен анализ напряжений для верхней (рис. 7) и для нижней (рис. 8) режущих пластин новой конструкции резца.

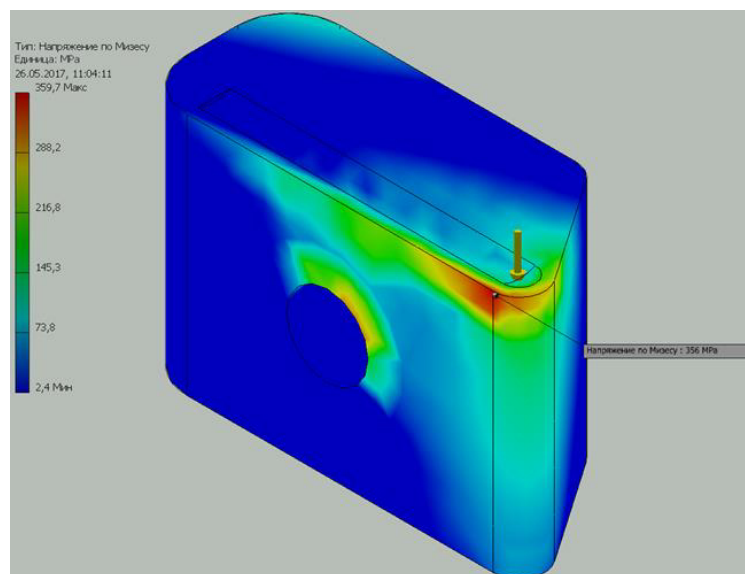


Рис. 7. Анализ напряжений для верхней пластины

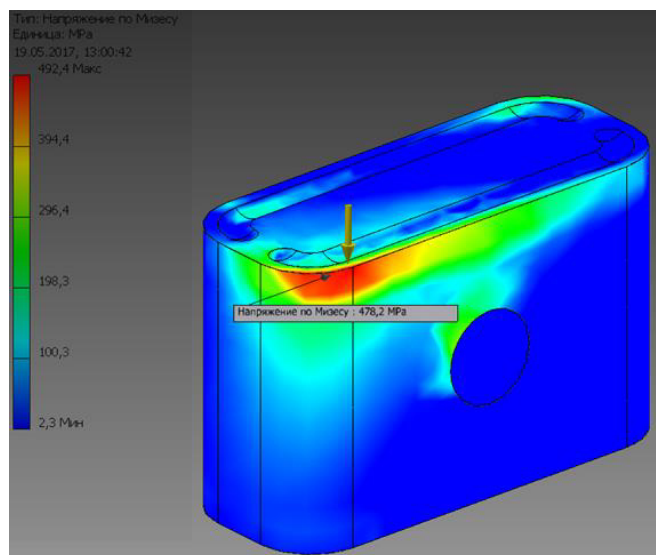


Рис. 8. Анализ напряжений для нижней пластины

Результаты анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2

Максимальное напряжение по Мизесу для режущих пластин резцов старой и новой конструкции

Пластина	Максимальное напряжение по Мизесу, МПа
Режущая пластина резца старой конструкции	525,7
Верхняя режущая пластина резца новой конструкции	359,7
Нижняя режущая пластина резца новой конструкции	492,4

Из результатов можно сделать вывод, что стойкость верхней и нижней пластин резца выше стойкости пластин стандартного резца на 31,6 и 6,4% соответственно.

Список литературы

1. Буйносов, А. П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава [Текст] / А. П. Буйносов – Москва: УМЦ ЖДТ, 2010. – 224 с.

М. Ф. Капустян, О. П. Супчинский, В. П. Кулаковская

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА

Анализ данных о текущем техническом состоянии подвижного состава показал, что для обеспечения необходимого уровня технической готовности требуются новые подходы к совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта. В статье предлагается методика определения показателей текущего состояния узлов подвижного состава, риска ущерба, затратность технического обслуживания объекта и определения на их основе стратегии ремонта, обеспечивающей минимальные затраты на него.

Задача обеспечения эксплуатационной надежности обуславливает повышение роли методов и средств диагностики. Существующие методы оценки технического состояния узлов подвижного состава сосредоточены на изучении отдельных элементов технической системы. Системный подход позволяет рассматривать не отдельно каждый элемент, а комплексно в виде совокупности всех элементов, входящих в систему.

На основе данных по эксплуатационным испытаниям локомотивов, полученных на Восточном полигоне приписного парка трех депо (Нижнеудинск, Боготол, Чита) был проведен анализ неплановых ремонтов. Распределение неплановых ремонтов по видам оборудования представлено на рис. 1.

Наибольшее количество неплановых ремонтов приходится на механическое оборудование, электрическое оборудование и тяговые электродвигатели.

Анализ данных показывает, что неплановые ремонты обусловлены нарушением регламентов и инструкций по проведению ремонтных работ, а также морально и физически устаревшим состоянием подвижного состава.

Как видно из рис. 1, отказы тяговых двигателей составляют существенную долю в общем объеме отказов электровозов (23 %), это подтверждает то, что тяговый двигатель является одним из важнейших

лимитирующих узлов электровоза, непосредственно влияющих на эксплуатационную надежность.

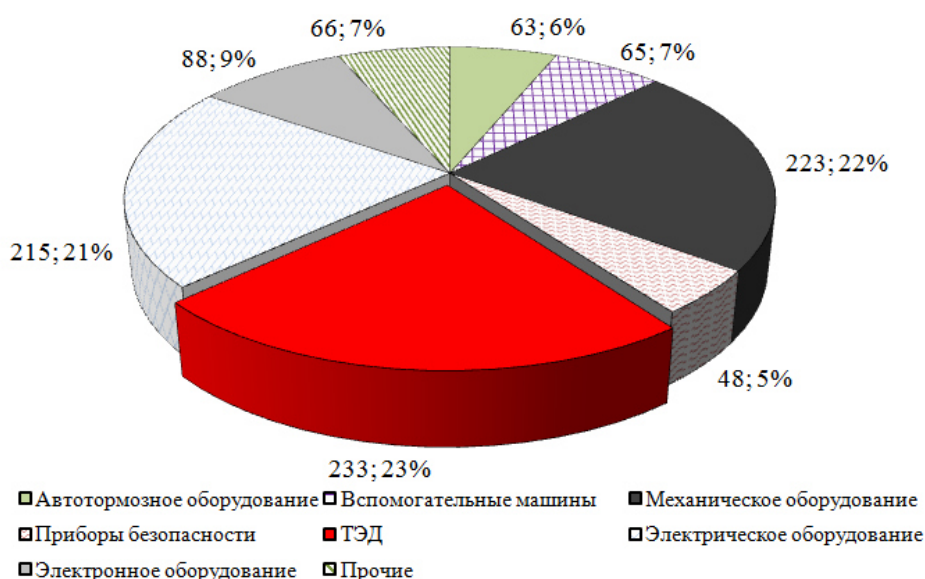


Рис. 1. Распределение по видам оборудования unplanned ремонтов электровозов за весь период эксперимента

Анализ отказов тяговых электродвигателей (рис. 2) показал, что в первую очередь необходимо обратить внимание на устранение отказов, связанных с перебросом электрической дуги по коллектору и коротким замыканием ТЭД, пробоем/понижением изоляции ТЭД, неисправностями дополнительных полюсов и якоря электродвигателя. Первоочередное решение проблем, связанных с возникновением этих отказов даст максимальный результат.

Анализ выше приведенных данных показывает, что необходимо совершенствование методов оценки технического состояния, а также системы обслуживания и ремонта. Существующая система планово-предупредительного ремонта имеет следующие недостатки:

- относительно большие сроки между испытаниями и ремонтами, не позволяющие выявлять повреждения оборудования на ранней стадии их возникновения;
- обслуживание и ремонт выполняются без фактической их необходимости;
- надежность работы после обслуживания с разборкой и заменой деталей часто снижается;

- не обоснованная фактическим состоянием замена узлов и деталей с большим остаточным ресурсом.

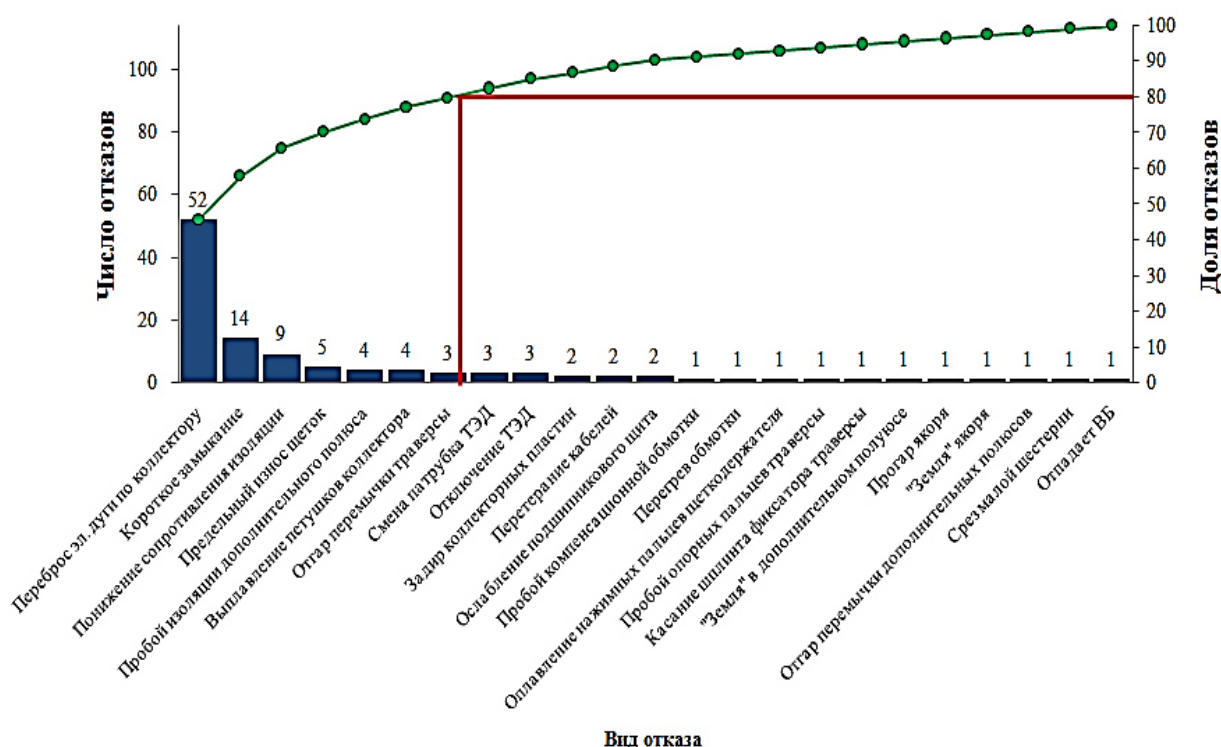


Рис. 2. Диаграмма Парето: анализ отказов ТЭД

Переход от регламентированных по времени профилактических и ремонтно-восстановительных работ к обслуживанию оборудования по фактическому техническому состоянию позволит повысить ресурс и надежность оборудования, сократить затраты на ремонт и простои.

Являясь дорогостоящим мероприятием, система ремонта и обслуживания по техническому состоянию требует определения наиболее приоритетного оборудования, требующего повышенного контроля. Ранжирование оборудования предлагается проводить на основании трех показателей, учитывающих техническое состояние, риски ущерба при отказе [1], а также стоимость технического обслуживания объекта.

Показатель рисков ущерба при отказе оборудования рассчитывается по формуле, где величина риска определяется как произведение величины нежелательного события (ущерба) на вероятность его наступления

$$R = K_i r \lambda p_m t, \quad (1)$$

где K_i – масштабирующий коэффициент;

p_m – вероятность возникновения опасного события i -го класса;

r – величина ущерба при i -ом событии;

λ – интенсивность отказов;

t – время непрерывной работы.

Для оценки вероятности возникновения событий используются данные статистики, подбор аналогии и мнение экспертов. Коэффициент K_i введен, чтобы уравнивать вес рисков, подсчитанный в реальных единицах, с рисками, оцененными экспертами по шкале от 1 до 10.

По каждой единице оборудования подсчитывается показатель, характеризующий техническое состояние объекта по формуле [2]

$$T_s = \frac{hd_i gr_i}{I}, \quad (2)$$

где h – весовой коэффициент для учета важности диагноза для оборудования j -го вида (диаграмма Парето);

d_i – показатель опасности диагноза по i -му виду контроля, учитывающий скорость развития (износ, старение) и тяжесть последствия дефекта (снижение срока службы или катастрофический отказ);

g – весовой коэффициент для учета важности рекомендации для оборудования j -го вида;

r_i – показатель весомости рекомендации по i -му виду контроля, учитывающий трудоемкость операции технического обслуживания и ремонта;

I – количество видов контроля, участвующих в оценке технического состояния оборудования.

Показатель, учитывающий затратность технического обслуживания объекта, определяется как:

$$S = 1 - \frac{C_L - C_{Lj}}{C_L},$$

где C_L – ежегодные затраты на проведение операций технического обслуживания объекта;

C_{Lj} – ежегодные удельные затраты на проведение технического обслуживания по j -й группе однотипного оборудования со сроком эксплуатации L .

Значения C_L , C_{Lj} могут рассчитываться как в денежном выражении, так и в единицах трудоемкости.

Таким образом, алгоритм определения уровня поврежденности электрооборудования, основанный на использовании интегрального диагностического параметра, могут быть представлены в следующем виде (рис. 3).

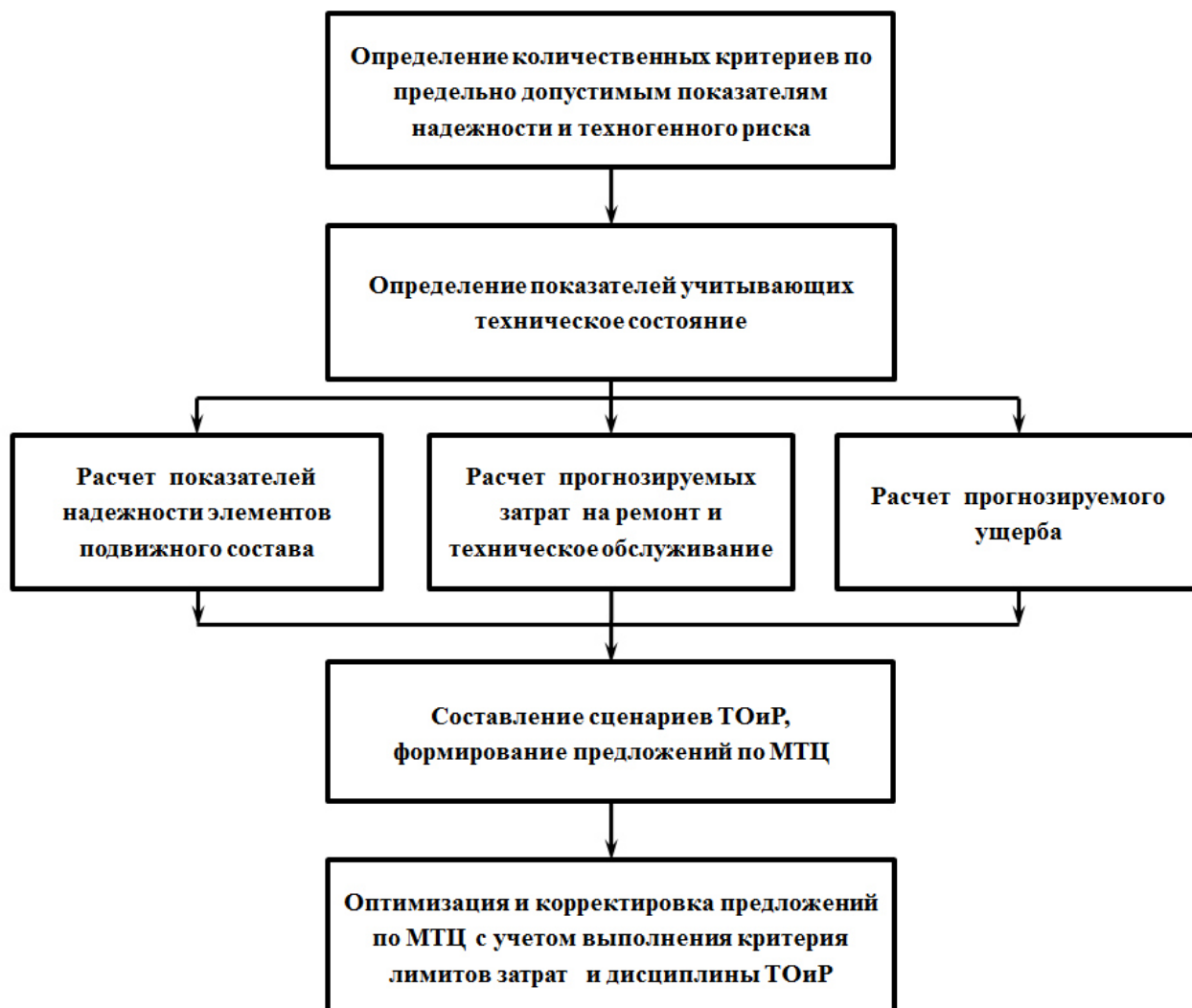


Рис. 3. Алгоритм определения уровня поврежденности электрооборудования, основанный на использовании интегрального диагностического параметра

Таким образом, для параметрического описания оборудования предложены параметры, учитывающие техническое состояние, риски ущерба при отказе, а также стоимость технического обслуживания оборудования.

Описан алгоритм определения уровня поврежденности оборудования подвижного состава, основанный на использовании интегрального диагностического параметра.

Список литературы

1. Острейковский, В. А. Моделирование техногенного риска сложных динамических систем с использованием распределения Парето [Текст] / В. А. Острейковский, А. С. Павлов, Е. Н. Шевченко // Вестник кибернетики. / Издательство: Сургутский государственный университет. - Сургут, 2016. - №1 (21). - С. 39 - 44.
2. Баширов, М. Г. Оценка технического состояния оборудования предприятий нефтегазовой отрасли на основе применения технoценoлогического метода [Текст] / М. Г. Баширов, У. Ф. Юмагузин // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». - Уфа, 2012. - №5. - С. 293 – 302.

УДК 629.424.1

В. А. Михеев, О. С. Томилова

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДСИСТЕМ ДИЗЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В статье рассматривается подход к оперативной оценке технического состояния функциональных подсистем дизельной энергетической установки тепловоза в составе комплексных микропроцессорных систем управления. Представлен подход к оперативной оценки технического состояния топливной системы, разработан алгоритм позволяющий установить причины выхода контролируемых параметров за допустимые пределы.

Важным звеном в задаче оперативной оценки и управления техническим состоянием тепловозов являются комплексные микропроцессорные системы управления (МСУ) со встроенными подсистемами диагностики, которыми в настоящее время оборудуется все серийно выпускаемые локомотивы. МСУ имеют возможность осуществлять непрерывное измерение и регистрацию значений достаточно большого перечня аналоговых и дискретных параметров работы оборудования. Однако, получаемые МСУ данные в связи с непродолжительным опытом их эксплуатации и отсутствием параметрических методик обработки регистрируемой информации практически не используются для оперативной оценки технического состояния функциональных подсистем энергетической

установки. Расширение функциональных возможностей встроенных подсистем диагностики МСУ являются эффективным и малозатратным способом оперативной оценки технического состояния основных подсистем и узлов дизельной энергетической установки тепловоза.

В связи с этим актуальной задачей является разработка методик обработки информации, регистрируемой МСУ, которые позволяли бы оперативно выявлять факт отклонения технического состояния функциональных подсистем от нормального. Для этого необходимо последовательно решить следующие взаимосвязанные задачи: во-первых, сформировать совокупность контрольных параметров в подсистемах диагностики МСУ; во-вторых, разработать методику обработки контрольных параметров с целью оперативной оценки технического состояния функциональных подсистем энергетической установки.

Наиболее строгим подходом к определению совокупности контрольных параметров является путь, основанный на построение и анализе модели исследуемого объекта. Одним из путей математического описания подобных сложных объектов представляется путь составления граф-модели [1 – 4]. Реализацию предлагаемого подхода рассмотрим на примере топливной системы.

Функциональная блок-схема топливной системы тепловозного дизеля [5] представлена на рис. 1, где T_o – температура окружающей среды, $T_{тб}$ – температура топлива в ТБ, $h_{тб}$ – уровень топлива в ТБ, $G_{тб}$ – количество топлива забираемого из ТБ, $H_{фг}$ – давление потока топлива после ФГО, $G_{фг}$ – количество топлива проходящего через ФГО, $T_{фг}$ – температура топлива после ФГО, $n_{тн}$ – частота вращения вала ТПН, $P_{тн}$ – давление топлива перед ФТО, $T_{тн}$ – температура топлива после ТПН, $G_{тн}$ – количество топлива подведенного к ФТО, $P_{фт}$ – давление топлива после ФТО, $T_{фт}$ – температура топлива перед ФТО, $G_{фт}$ – количество топлива прошедшего через ФТО, $P_{кт}$ – давление топлива в надплунжерном пространстве ТНВД, $T_{кт}$ – температура топлива в КТ, $G_{кт}$ – количество топлива подведенного к ТНВД, l_p – выход реек ТНВД, n_d – частота вращения коленчатого вала дизеля, $P_{нд}$ – давление топлива в трубопроводах высокого давления на входе в Ф, $G_{нд}$ – цикловая подача топлива ТНВД, $T_{нд}$ – температура топлива после ТНВД, P_t – давление впрыскиваемого в цилиндр топлива, $q_{ц}$ – цикловая подача топлива, T_t – температура впрыскиваемого

топлива, $P'_{\text{кт}}$ – давление топлива в КТ, $G'_{\text{кт}}$ – количество топлива поступающего в КТ, $P'_{\text{тн}}$ – давление топлива после ТПН, $G'_{\text{тн}}$ – производительность ТПН, $G_{\text{пк}}$ – количество топлива сливаемого через ПК, $G_{\text{прк}}$ – количество топлива сливаемого через ПрК, $T'_{\text{тп}}$ – температура топлива на входе в ТП, $G_{\text{вп}}$ – количество воды проходящей через ТП, $P_{\text{вп}}$ – давление потока воды на входе в ТП, $T_{\text{вп}}$ – температура воды на входе в ТП, $T'_{\text{вп}}$ – температура воды на выходе из ТП, $P'_{\text{вп}}$ – давление воды на выходе из ТП, $G_{\text{тп}}$ – количество топлива сливаемого в ТБ из ТП, $T_{\text{тп}}$ – температура топлива на выходе из ТП.

Составление модели функционирования топливной системы тепловозного дизеля $G_{\text{тс}}(X, U)$ с использованием метода граф-описания предполагает задание в топологическом пространстве конечного множества функциональных параметров, образующих конечное множество вершин графа X , соответствующих причинно-следственным связям между ними, образующих конечное множество ребер U ($X \cap U = \emptyset$) и трехместного предиката $P(x, u, y)$, $x, y \in X$ и $u \in U$ [1, 2].

В работе [1] к выделению рекомендованы следующие конечные множества параметров: входные параметры (множество K) – параметры воздействий других объектов или окружающей среды; выходные параметры (множество R) – параметры рассматриваемого объекта, воздействующие на другие объекты и системы; параметры процесса функционирования (множество F) – характеристики множества подпроцессов, составляющих основной процесс функционирования топливной системы; структурные параметры (множество E) и дефекты (множество D). Выделим параметры указанных множеств на основе рассмотрения физических процессов, отражающих сущность функционирования топливной системы и работоспособность ее структурных элементов.

В качестве входных параметров (множество K) в соответствии с функциональной блок-схемой (рис. 1) рассматриваются: температура окружающего воздуха – T_o ; выход рейки топливного насоса и частота вращения коленчатого вала дизеля – l_p и n_d ; температура, давление и расход воды ТП – $T_{\text{вп}}$, $P_{\text{вп}}$ и $G_{\text{вп}}$; частота вращения привода ТПН – $n_{\text{тпн}}$. Основными выходными характеристиками процесса функционирования топливной системы (множество R) служат цикловая подача, температура и давление впрыска топлива – $q_{\text{вп}}$, $T_{\text{вп}}$ и $P_{\text{вп}}$.

Параметры множества F выделим на основе анализа подпроцессов функционирования. Основной цикл работы топливной системы отображаем множеством взаимосвязанных функциональных параметров, представляющих давления ($P_{\text{тн}}, P_{\text{фт}}, \dots, P_{\text{кт}}$), температуры ($T_{\text{фг}}, T_{\text{тн}}, \dots, T_{\text{кт}}$) и скорости движения сред ($v_{\text{фт}}, \dots, v_{\text{фг}}$), расходы рабочих сред ($G_{\text{тн}}, G_{\text{пк}}, \dots, G_{\text{кт}}$) и гидравлические потери напора ($h_{\text{фг}}, h_{\text{фт}}, \dots, h_{\text{пк}}$), оказывающих наибольшее влияние на процесс течения потока топлива и его параметры.

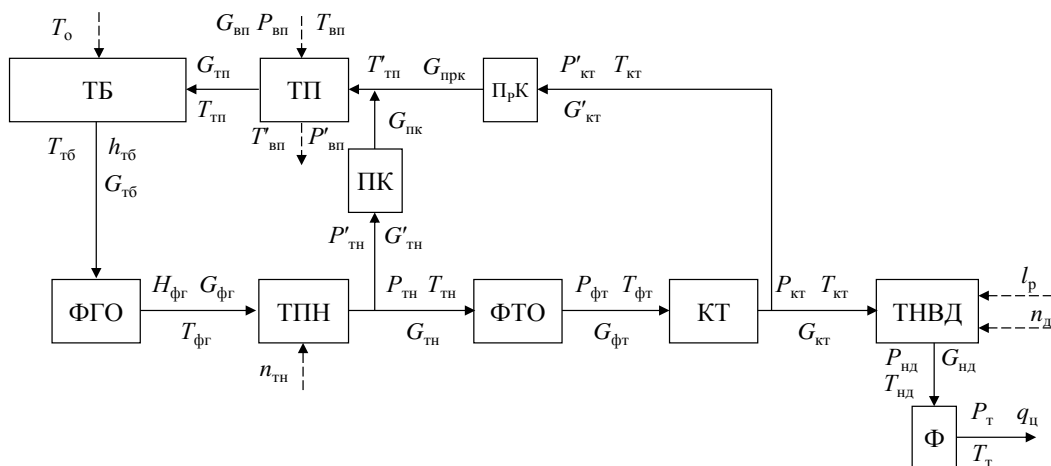


Рис. 1. Функциональная блок-схема топливной системы:

ТБ – топливный бак; ТП – топливоподогреватель; ПрК – перепускной клапан;
 ПК – предохранительный клапан; ФГО – фильтр грубой очистки;
 ТПН – топливоподкачивающий насос; ФТО – фильтр тонкой очистки; КТ – топливный
 коллектор; ТНВД – топливный насос высокого давления; Ф – топливная форсунка

Для распознавания возможных неисправностей необходимо ввести структурные параметры (множество E) и дефекты (множество D). Глубина исследования в нашем случае распространяется до агрегатов и отдельных узлов топливной системы и не рассматривает ее отдельных элементов, поэтому описание структурных параметров подмножества E здесь и далее реализуем в терминах теории размытых категорий [1 – 4]: $E_{\text{фг}}$ – техническое состояние ФГО; $E_{\text{тпн}}$ – техническое состояние ТПН; $E_{\text{фт}}$ – техническое состояние ФТО; $E_{\text{пк}}$ и $E_{\text{прк}}$ – техническое состояние ПК и ПрК; $E_{\text{кт}}$ – техническое состояние КТ; $E_{\text{нд}}$ – техническое состояние ТНВД; $E_{\text{ф}}$ – техническое состояние Ф. Множество структурных параметров отображаются на графе в виде прообразов [1, 2].

Математически задача выделения совокупности контрольных параметров технического состояния решена нахождением внешне устойчивого

подмножества (ВУП) – T ориентированного двудольного графа, такого, что $T \subseteq X$ и истинно логическое высказывание $\forall_x [x \in X, x \notin T (\Gamma_x \cap T \neq \emptyset)]$, где Γ_x – подмножество, образованное отображением вершины x в множество X ; $\forall$ – квантор общности [1, 2]. В результате получили схему покрытия в виде двудольного графа (рис. 2), представляющую собой искомое множество контрольных параметров топливной системы.

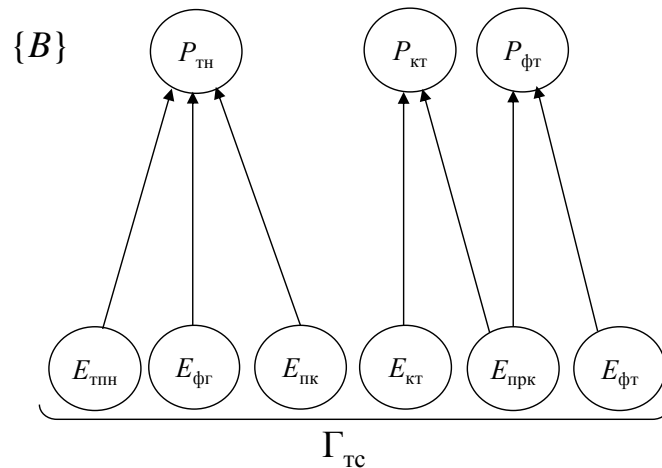


Рис. 2. Двудольный граф соответствия топливной системы

При разработке методики обработки контрольной информации в составе встроенных подсистем диагностики МСУ особый интерес представляет разработка способа оценки технического состояния функциональной подсистемы, допускающего возможность формализации и автоматизации логических и вычислительных операций, в частности – вычисление контролируемых параметров и их отклонений, локализация отказов по соответствующим алгоритмам.

В разработанной методике регистрации подвергается совокупность контрольных параметров $B = \{P_{тн}, P_{кт}, P_{фт}\}$ при установившемся номинальном режиме работы тепловоза; позиции расположения контрольных точек в топливной системе представлены на рис. 3.

На основе выполненных измерений формируются контролируемые параметры, представленные в табл., допустимые значения которых принимаются согласно технической документации и опыта эксплуатации.

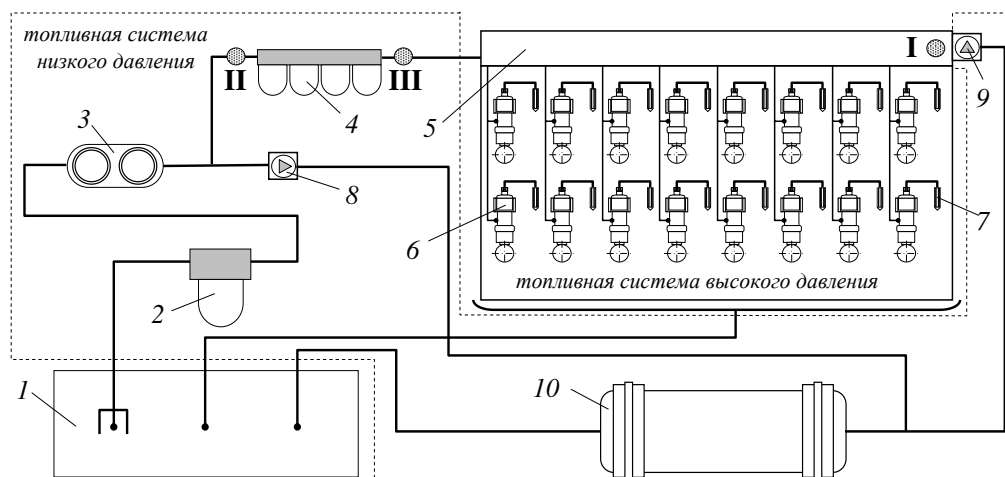


Рис. 3. Позиции расположения контрольных точек в топливной системе:
 1 – ТБ; 2 – ФГО; 3 – ТПН; 4 – ФТО; 5 – КТ; 6 – ТНВД; 7 – Ф; 8 – ПК; 9 – ПрК; 10 – ТП;
 I – давление топлива в КТ, $P_{кт}$; II – давление топлива до ФТО, $P_{тн}$;
 III – давление топлива после ФТО, $P_{фт}$

Таблица 1

Контролируемых параметров

Наименование, обозначение параметра, МПа	Допустимые значения
Давление топлива в КТ, $P_{кт}$	$0,11 \leq P_{кт} \leq 0,13$
Давление топлива до ФТО, $P_{тн}$	$0,26 \leq P_{тн} \leq 0,35$
Перепад давления топлива на ФТО, $\Delta P_{фт}$	$\Delta P_{фт} = P_{тн} - P_{фт}; \Delta P_{фт} \leq 0,15$

Разработка алгоритма (рис. 4) оперативной оценки технического состояния функциональных подсистем предполагает задание логических условий с использованием допустимых значений контролируемых параметров (максимальных и минимальных):

$$P_{кт}^{(\min)} \leq P_{кт} \leq P_{кт}^{(\max)}; P_{кт} < P_{кт}^{(\min)}; P_{тн}^{(\min)} \leq P_{тн} \leq P_{тн}^{(\max)}$$

$$\Delta P_{фт} \leq \Delta P_{фт}^{(\max)}; P_{тн} > P_{тн}^{(\max)}.$$

По результатам контроля формируется отчет содержащий заключение о техническом состоянии исследуемой системы.

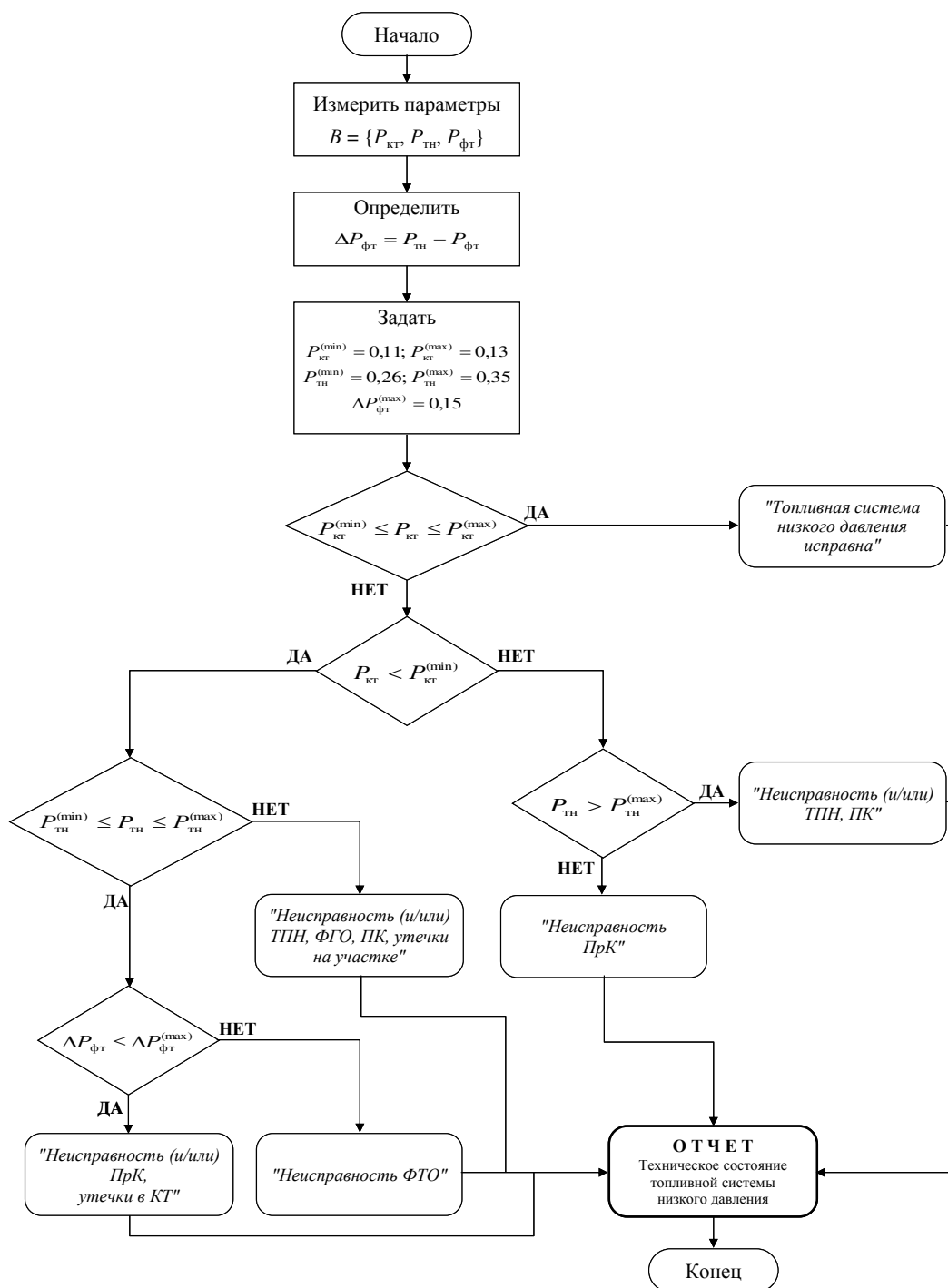


Рис. 4. Алгоритм оперативной оценки технического состояния топливной системы

Методику обработки контрольных параметров предполагается использовать в виде дополнения к программному обеспечению серийных подсистем диагностики МСУ, при таком подходе исключается необходимость

интегрировать в состав МСУ дополнительных аппаратных средств и менять регламент работы.

Подводя итог вышеизложенному можно сказать, что разработанные методики и алгоритмы, помимо оперативной оценки функциональных подсистем энергетической установки, можно использовать для:

- интегральной оценки технического состояния каждого тепловоза по отклонениям параметров работы его функциональных подсистем;
- выявлять динамику изменения технического состояния основного оборудования во времени с целью прогнозирования остаточного ресурса.

В целом применение разработанных подходов позволит сократить временные и материальные затраты на техническое обслуживание и ремонт тепловозного парка, повысить его эффективность и эксплуатационную надежность, соответственно уменьшив потери в эксплуатационной работе.

Список литературы

1. Диагностирование на граф-моделях: На примерах авиационной и автомобильной техники [Текст] / Я. Я. Осис и др. – М.: Транспорт, 1991. – 244 с.
2. Харламов, В. В. Методы и средства диагностирования технического состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей и других коллекторных машин постоянного тока [Текст] / В. В. Харламов. – Омск: Типография ОмГУПС, 2002. – 233 с.
3. Сковородников, Е. И. Моделирование процессов функционирования дизель-генераторной установки тепловоза с целью оптимизации количества параметров контроля [Текст] / Е. И. Сковородников, В. А. Михеев // Транспорт Урала. – 2009. – № 1 (20). – С. 59 – 62.
4. Анисимов, А. С. Методы исследования взаимовлияния параметров функционирования тепловоза [Текст] / А. С. Анисимов, В. А. Михеев, Ю. Б. Гришина // Известия Транссиба. – 2010. – № 1 (1). – С. 2 – 8.
5. Тепловоз 2ТЭ116 [Текст] / С. П. Филонов и др. – М.: Транспорт, 1996. – 334 с.

Р. Ю. Якушин, Д. В. Балагин

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАНЕВРОВЫХ ТЕПЛОВОЗОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ БУСТЕРНОЙ СЕКЦИИ

В статье рассматривается возможность использование бустерной секции на тепловозах серии ТЭМ18ДМ при выполнении маневровых и вывозных работ на руководящих подъемах, позволяющая увеличить массу состава и повысить эксплуатационную надежность тепловозов.

В условиях работы железных дорог России, где непрерывно растет потребность в перевозках, экономическая целесообразность увеличения массы состава очевидна и общеизвестна. В этом случае обеспечивается повышение провозной способности, сокращается потребное количество локомотивов и, соответственно, расходы на их содержание и ремонт.

Особенно эти задачи актуальны на предприятиях промышленного железнодорожного транспорта, активно эксплуатирующие маневровые локомотивы, в частности тепловоз ТЭМ18ДМ.

Увеличения массы состава можно достигнуть использованием двойной или кратной тяги, а также применением бустерной секции, позволяющей повысить силу тяги локомотива до 60 %. Однако в первом случае сокращается полезная длина поезда, увеличиваются число локомотивов в рабочем парке, объемы и стоимость обслуживания и ремонта, численность обслуживающего и ремонтного персонала.

Бустерная секция представляет собой локомотив с обмоторенными осями без дизель-генераторной установки и вспомогательного оборудования, нагруженный до расчетной массы главного локомотива. Работа бустерной секции предполагается на малых скоростях движения, при увеличении скорости движения выше расчетной предусматривается ее отключение и передвижение состава в обычном порядке [1].

Силовая цепь тяговой системы (тепловоз ТЭМ18ДМ и бустерная секция) состоит из двенадцати тяговых электродвигателей (ТЭД), соединенных в две параллельные группы по шесть в каждой (рис. 1).

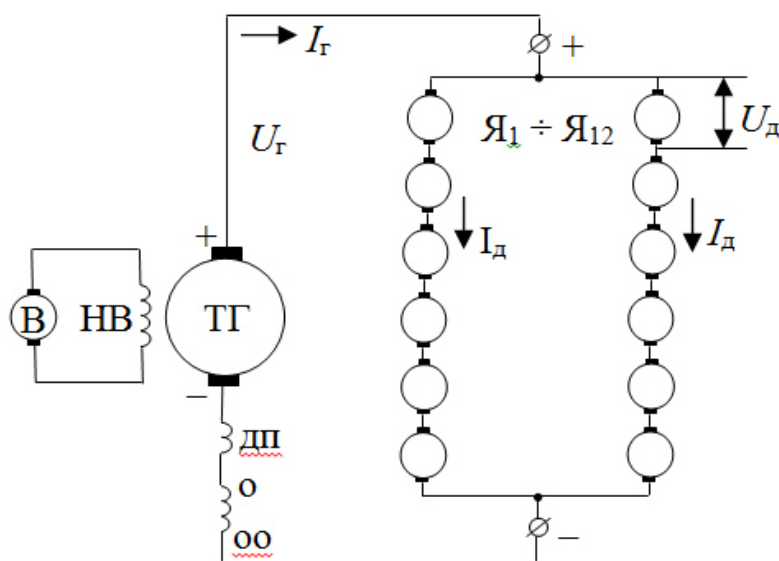


Рис. 1. Электрическая схема силовой цепи тяговой системы

При движении тяговой системы в длительном (расчетном) режиме со скоростью $V = 11$ км/ч, при реализации данной схемы соединения ТЭД, имеют место следующие электрические параметры в цепи (согласно внешней характеристике тягового генератора ГП-321У2): напряжение и ток тягового генератора $-U_r = 645$ В, $I_r = 1210$ А; напряжение и ток тягового электродвигателя $-U_d = 107,5$ В, $I_d = 605$ А.

Для определения длительной силы тяги $F_{\text{к\infty}}$ тяговой системы необходимо рассчитать вращающий момент и частоту вращения ТЭД.

Частота вращения ТЭД определяется по выражению, мин^{-1} [2]:

$$n_d = \frac{U_d - I_d \Sigma R}{C_e \Phi}, \quad (1)$$

где U_d – напряжение, подведенное к двигателю, В;

I_d – ток двигателя, А;

ΣR – общее сопротивление цепи двигателя, Ом;

C_e – электрическая постоянная машины;

Φ – магнитный поток главных полюсов, Вб.

Общее сопротивление цепи ТЭД, Ом,

$$\Sigma R = r_{\text{я}} + r_{\text{д.п}} + \beta r_{\text{в}}, \quad (2)$$

где $r_{\text{я}}$ – сопротивление обмотки якоря, $r_{\text{я}} = 0,013$ Ом;

$r_{\text{д.п}}$ – сопротивление обмотки добавочных полюсов, $r_{\text{д.п}} = 0,00812$ Ом;

β – коэффициент ослабления возбуждения, $\beta = 1$;

$r_{\text{в}}$ – сопротивление обмотки возбуждения, $r_{\text{в}} = 0,0105$ Ом,

$$\Sigma R = 0,013 + 0,00812 + 1 \times 0,0105 = 0,03162 \text{ Ом.}$$

Электрическая постоянная машины определяется по выражению:

$$C_e = \frac{pN}{60a}, \quad (3)$$

где p – число пар полюсов двигателя;

N – число проводников обмотки якоря;

a – число пар параллельных ветвей обмотки якоря.

Магнитный поток двигателя определяется по выражению, Вб [2]:

$$\Phi = \frac{0,96U_{\text{д}} 60a}{pNn_{\text{д.р}}}, \quad (4)$$

где $0,96U_{\text{д}}$ – ЭДС обмотки якоря, В;

$n_{\text{д.р}}$ – расчетная частота вращения двигателя, мин^{-1} .

По электромеханическим характеристикам тягового электродвигателя ЭД-118А определяем частоту вращения и КПД: $n_{\text{д.р}} = 215 \text{ мин}^{-1}$, $\eta_{\text{д}} = 0,915$ (при токе $I_{\text{д}} = 605$ А и напряжении $U_{\text{д}} = 107,5$ В).

Из выражений (3) и (4) получаем:

$$C_e \Phi = \frac{0,96U_{\text{д}}}{n_{\text{д.р}}}, \quad (5)$$

$$C_e \Phi = \frac{0,96 \cdot 107,5}{215} = 0,48 \text{ Вб.}$$

Подставляя полученные значения в выражение (1), получаем:

$$n_{\text{д}} = \frac{107,5 - 605 \cdot 0,03162}{0,48} = 184,1 \text{ мин}^{-1}.$$

Вращающий момент на тяговом двигателе, кгс·м,

$$M_{\text{д}} = 0,9554 \frac{U_{\text{д}} I_{\text{д}} \eta_{\text{д}}}{n_{\text{д}}}, \quad (6)$$

$$M_{\text{д}} = 0,9554 \frac{107,5 \cdot 605 \cdot 0,915}{184,1} = 323,2 \text{ кгс·м.}$$

Скорость движения тяговой системы, км/ч,

$$V = 0,1884 \frac{D_{\text{к}}}{\mu} n_{\text{д}}, \quad (7)$$

где $D_{\text{к}}$ – диаметр колесной пары по кругу катания, $D_{\text{к}} = 1,05$ м;

μ – передаточное число тягового редуктора, $\mu = 4,53$;

$$V = 0,1884 \frac{1,05}{4,53} 184,1 = 8 \text{ км/ч.}$$

Длительная сила тяги системы определится по выражению, кгс [2]:

$$F_{\text{к}\infty} = 2m_{\text{д}} \frac{M_{\text{д}}}{D_{\text{к}}} \mu \eta_{\text{з}}, \quad (8)$$

где $m_{\text{д}}$ – число тяговых двигателей, $m_{\text{д}} = 12$;

$\eta_{\text{з}}$ – КПД тягового редуктора, $\eta_{\text{з}} = 0,985$;

$$F_{\text{к}\infty} = 2 \cdot 12 \frac{323,2}{1,05} 4,53 \cdot 0,985 = 32967 \text{ кгс } (33 \cdot 10^4 \text{ Н}).$$

Длительная сила тяги тепловоза ТЭМ18ДМ составляет 21000 кгс ($21 \cdot 10^4$ Н), следовательно, при использовании бустерной секции сила тяги увеличивается на 57 %.

Масса состава Q определяется по выражению, т [2]:

$$Q = \frac{F_{\text{к}\infty} - P(\omega'_0 + i_p)g}{(\omega''_0 + i_p)g}, \quad (9)$$

где $F_{\text{к}\infty}$ – длительная сила тяги локомотива, Н;

P – расчетная масса тяговой системы, т;

ω'_0 – основное удельное сопротивление движению тяговой системы, Н/кН;

ω''_0 – основное удельное сопротивление движению состава, Н/кН;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

i_p – расчетный подъем профиля пути, ‰.

Расчетная масса тяговой системы складывается из масс локомотива и бустерной секции и составляет 247,2 т.

Основное удельное сопротивление движению тяговой системы определяется по выражению, Н/кН [2]:

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,01V + 0,0003V^2; \quad (10)$$

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot 8 + 0,0003 \cdot 8^2 = 2 \text{ Н/кН.}$$

Основное удельное сопротивление движению состава зависит от типа вагонов, числа осей, вида подшипников вагонов и т. д. Для расчетов принимаем среднеэксплуатационное значение $\omega''_0 = 1,5 \text{ Н/кН}$.

Расчетные значения массы состава на различных подъемах профиля пути при использовании тепловоза ТЭМ18ДМ с бустерной секцией со скоростью $V = 11 \text{ км/ч}$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные значения массы состава

Подъем профиля пути i_p , ‰	Масса состава Q , т		
	ТЭМ18ДМ	ТЭМ18ДМ + БС	ТЭМ18ДМ + ТЭМ18ДМ
2	5975	9146	11950
4	3754	5730	7508
6	2721	4136	5442
8	2123	3213	4246
10	1699	2612	3398
12	1374	2188	2748
14	1220	1874	2440

Годовой экономический эффект от применения тяговой системы определяется по выражению, р. [1]:

$$\Theta_{\Gamma} = (\Pi_{\text{т.с}} \Pi_{\text{от.с}} - \Pi_{\text{л}} \Pi_{\text{ол}}) K, \quad (11)$$

где $\Pi_{\text{т.с}}, \Pi_{\text{л}}$ – производительность тяговой системы и локомотива соответственно, т·км;

$\Pi_{\text{от.с}}, \Pi_{\text{ол}}$ – стоимость тонно-километровой работы при использовании тяговой системы и локомотива соответственно, р./тк·м;

K – количество рейсов в год.

Производительность локомотива (тяговой системы), т·км,

$$П = QS, \quad (12)$$

где S – расстояние тягового плеча, км.

Стоимость тонно-километровой работы, р./т·км,

$$\Pi_0 = \Pi_m \frac{G}{\Pi}, \quad (13)$$

где Π_m – стоимость дизельного топлива, р./кг;

G – средний расход топлива локомотивом за рейс, кг,

Средний расход топлива локомотивом за рейс определяется по выражению, кг [2]:

$$G = G_{x.x} \tau_{x.x} + \sum_{i=1}^n b_{ei} P_{ei} \tau_{ni} + G_{б.с} \tau_{б.с}, \quad (14)$$

где $G_{x.x}$ – расход топлива дизелем на холостом ходу, кг/ч;

$\tau_{x.x}$ – средняя продолжительность работы дизеля на холостом ходу за рейс, ч;

n – число режимов нагрузки дизеля за рейс;

b_{ei} – удельный расход топлива на i -м режиме нагрузки дизеля, кг/кВт·ч;

P_{ei} – эффективная мощность дизеля на i -м режиме нагрузки дизеля, кВт;

τ_{ni} – время работы дизеля на i -м режиме нагрузки, ч;

$G_{б.с}$ – затраты топлива на передвижение бустерной секции за рейс, кг/ч;

$\tau_{б.с}$ – продолжительность работы локомотива с бустерной секцией за рейс, ч.

Таким образом, использование бустерной секции при выполнении маневровых и вывозных работ на руководящих подъемах приводит к увеличению массы состава, уменьшению себестоимости обслуживания и ремонта локомотивов и, в конечном итоге, к повышению экономического эффекта.

Список литературы

1. Якушин, Р. Ю. Использование бустерной секции при выполнении маневровых и вывозных работ на руководящих подъемах / Р. Ю. Якушин, А. А. Глауб // Повышение надежности, экономичности и экологичности дизельного подвижного состава: Межвузовский тематический сборник научных трудов / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2004. – С. 17.
2. Кузьмич, В. Д. Теория локомотивной тяги / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель. М.: Маршрут, 2005. – 448 с.

УДК 543.421/424

Д. В. Муравьев

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

В статье описывается методика оценки качества материала литых деталей тележки с использованием оптико-эмиссионного спектрального анализа, которая включает этапы извлечения образцов, пробоподготовки, спектрометрии и обработки результатов исследования. Методика предлагает обоснованный выбор места вырезки образца, подробно описывает последовательность измерений и анализа результатов.

За последнее время на сети железных дорог Российской Федерации ежегодно происходит более двадцати изломов боковых рам и надрессорных балок тележек грузовых вагонов.

Каждый зарегистрированный случай излома и разрушения – это потенциальный источник аварии или крушения железнодорожного состава. Кроме того, при проведении плановых видов ремонта грузовых вагонов отбраковываются тысячи боковых рам и надрессорных балок по причине низкого качества литейной стали, применяемой для их изготовления.

Литые детали тележек грузовых вагонов, такие как боковые рамы и надрессорные балки, являются основными деталями грузовых вагонов, которые при эксплуатации воспринимают существенные нагрузки. Неудовлетворительное качество литых деталей тележек, выпускаемых

заводами-изготовителями, является проблемой, которая сказывается на безопасности движения поездов.

Среди причин разрушения литых деталей тележек грузовых вагонов можно выделить несколько основных:

- устаревшие конструкции отливок и нормативные документы на материал деталей;
- повышение нормативной нагрузки на ось колесной пары, обусловленное увеличением объемов грузоперевозок;
- грубейшее нарушение технологии изготовления боковых рам заводами-изготовителями, приводящее к образованию литейных дефектов;
- низкий порог обнаружения дефектов литья при проведении неразрушающего выходного контроля на заводе-изготовителе.

Литые детали тележек даже старой конструкции спроектированы с существенным запасом прочности и могут надежно выполнять свои функции даже в условиях повышенных нагрузок и отрицательных температур.

Основной причиной большинства отказов боковых рам и надрессорных балок в эксплуатации являются изломы деталей, которые образуются в местах расположения литейных дефектов, допущенных в процессе литья или в результате использования некачественного металла. Поскольку такие дефекты являются концентраторами напряжений, под действием динамических знакопеременных нагрузок это приводит к зарождению усталостных трещин и, соответственно, к разрушению деталей.

Учитывая тяжелую обстановку с литыми деталями тележек грузовых вагонов на сети железных дорог Российской Федерации, в настоящее время рассматриваются различные варианты снижения рисков схода подвижного состава и решаются вопросы по обеспечению заводами-изготовителями поставок качественных литых деталей тележек. Одно из наиболее важных решений, которые могут снизить случаи схода подвижного состава – это усиленный контроль деталей грузовых вагонов, как при изготовлении, так и в пути следования и на пунктах технического обслуживания (ПТО).

Проблемы, связанные с крупным вагонным литьем носят массовый характер. Литые детали тележек грузовых вагонов – рамы боковые и надрессорные балки – являются особо ответственными деталями подвижного состава, которые в процессе эксплуатации воспринимают все основные

нагрузки, возникающие при движении поездов. Способность длительное время противостоять воздействию всего спектра эксплуатационных нагрузок является основной характеристикой эксплуатационной надежности таких деталей, то есть напрямую влияет на безопасность движения поездов.

В связи с этим возникает проблема оценки качества материала литых деталей тележек. Решением подобных задач занимается металлография и спектральный анализ, важнейшей составляющей которых является химический анализ. Именно химический анализ сплава способен дать четкий ответ о соответствии его качества требованиям нормативных документов.

Существует множество методов определения химического состава металла или сплава, которые условно можно разделить на две группы: химические и физико-химические.

К химическим методам относятся гравиметрический и титриметрический методы. Физико-химические методы весьма разнообразны, они включают спектрофотометрические, электрохимические, хроматографические и прочие методы.

На сегодняшний день в промышленности наибольшее распространение получили спектрофотометрические методы, которые основаны на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом. Такое взаимодействие приводит к различным энергетическим переходам, которые регистрируются экспериментально в виде поглощения излучения, отражения и рассеяния электромагнитного излучения.

Эмиссионные методы являются совокупностью спектрофотометрических методов элементного анализа, основанных на изучении спектров испускания свободных атомов и ионов в газовой фазе. Определение элементного состава сплава осуществляется по оптическим линейчатым спектрам излучения атомов и ионов анализируемой пробы, возбуждаемым в источниках света. В качестве источников света для оптико-эмиссионного анализа используют пламя горелки или различные виды плазмы. На сегодняшний день наиболее подходящим методом определения химического состава литых деталей подвижного состава является электроискровая спектрометрия, основанные на электроискровой эмиссии.

Исследования качества материала литых деталей тележки грузового вагона проводились с использованием оптико-эмиссионного спектрометра

отечественного производства «АРГОН-5СФ», принцип работы которого состоит в том, что в продуваемом аргоном высокой чистоты (не менее 99,998%) промежутке между анализируемым металлическим образцом и вольфрамовым электродом создается низковольтный униполярный разряд. Излучение разряда, содержащее все спектральные линии легирующих и примесных элементов анализируемого образца, передается в оптический блок спектрометра через собирающую линзу. Для разложения излучения в спектр используется вогнутая дифракционная решетка, а для регистрации разложенного спектра применяется набор линейных фотодиодных твердотельных приемников излучения типа ПЗС (приборов с зарядовой связью), сигналы с которых обрабатываются встроенным компьютером.

При этом исследования проводились по специально предложенной методике контроля качества материалов для изготовления боковой рамы и надрессорной балки, структура которой представлена на рис. 1.

На первом этапе производят отбор готовой детали из серии и выбирают место для взятия пробы для спектрального анализа на химический состав. Для боковой рамы пробу рекомендуется вырезать в местах буксового проема и опорной поверхности буксового узла, перехода R55 с внутренней стороны боковины, в зоне технологического окна и нижнего пояса (рис. 2, а). Для надрессорной балки вырезку пробы осуществляют в местах опоры скользунов, подпятниковой зоны, зоны нижнего пояса и местах наклонных плоскостей (рис. 2, б). При отборе образцов пробу необходимо брать в тех местах, которые испытывают наибольшие нагрузки в процессе эксплуатации.

На втором этапе подготавливают микрошлиф (темплет) для спектрального анализа. Подготовка состоит из следующих этапов: вырезка образца и шлифование. Вырезку производят не менее чем в 3-х местах каждой анализируемой зоны. Для обеспечения перекрытия отверстия для электрического разряда униполярной искры образец должен иметь размеры не менее 1 мм по высоте, 6 мм – по ширине и глубине, а также не более 50 мм по высоте и 120 мм – по ширине и глубине.



Рис. 1. Структура методики контроля качества материалов для изготовления боковой рамы и надрессорной балки

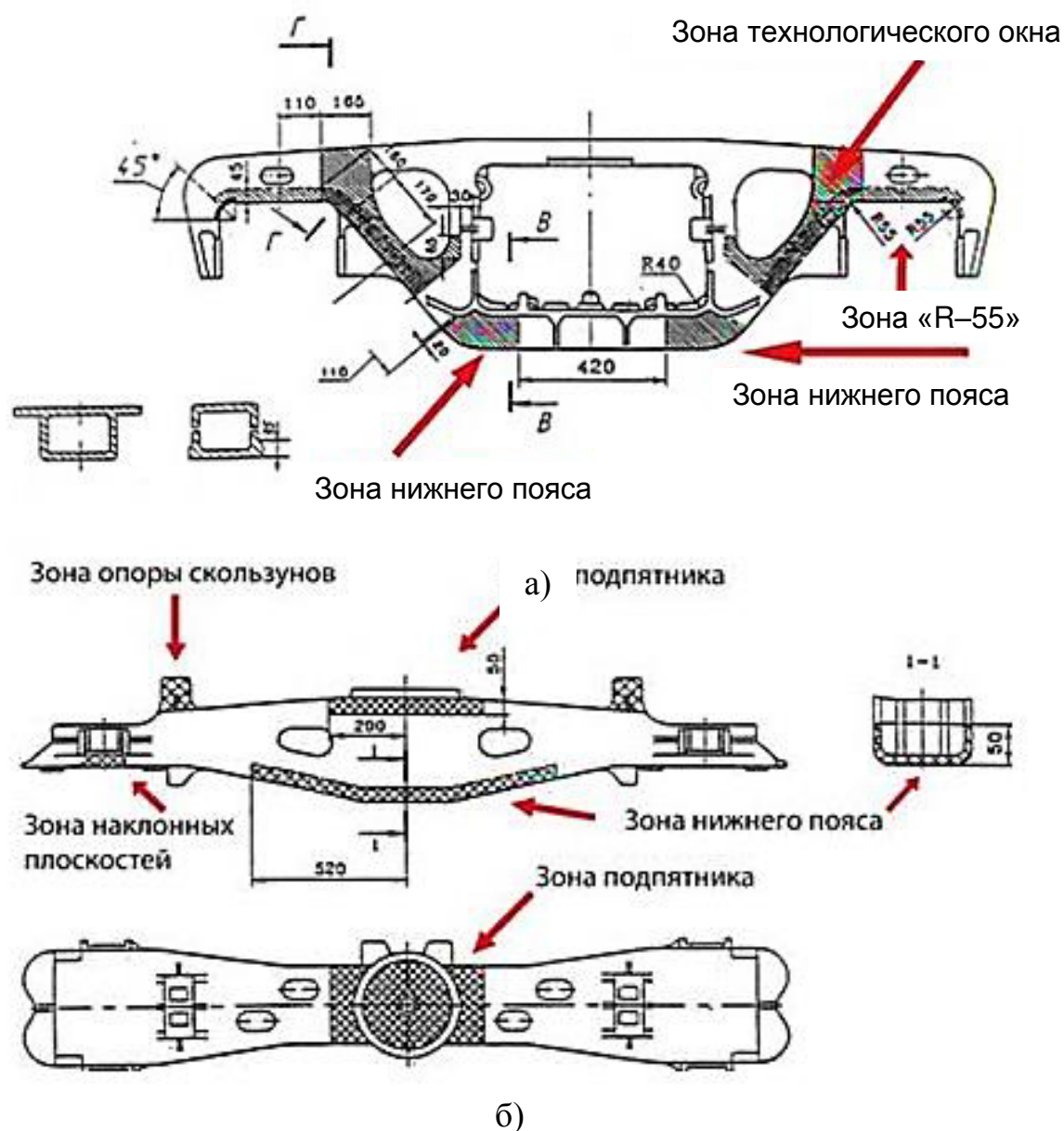


Рис. 2. Зоны отбора проб для спектрального анализа материала боковой рамы (а) и надрессорной балки (б) тележки грузового вагона

На третьем этапе плоскость образца шлифуют на специальном шлифовально-полировальном станке, обеспечивая параллельность анализируемой и опорной поверхностей образца с целью исключения подтравливания газов из воздуха (азота, кислорода, водорода) в зону горения искрового разряда, что может негативно повлиять на точность измерения.

На четвертом этапе проводят непосредственно спектральный анализ по аналитической методике для низко- и среднелегированных сталей. Для этого необходимо установить и зафиксировать образец на измерительном столике

таким образом, чтобы перекрыть поверхностью образца отверстие в столике, через которое пройдет искровой разряд, и прижать образец к столику прижимом, обеспечив надежный электрический контакт, а также исключив попадание газов в зону горения искрового разряда.

Для получения результата анализа следует провести серию не менее трех измерений образца, контролировать качество пятен обжига (рис. 3) и величину абсолютной интенсивности линий основы сплава.



Рис. 3. Характерный вид пятен обжига на образцах разных типов сплава

Источником излучения в спектрометре является искровой разряд, зажигаемый между анализируемым образцом и подставным вольфрамовым электродом, промежуток между которыми продувается аргоном. В процессе горения искрового разряда происходит сгорание пробы анализируемого материала, изучение которого фокусируется кварцевой линзой оптического блока. В оптическом блоке излучение раскладывается в спектр при помощи дифракционной решетки и регистрируется системой регистрации спектра на базе набора фотодиодных линейных приборов с зарядовой связью (ПЗС). Количественное определение элементов основывается на зависимости интенсивности аналитических линий элемента от его абсолютного содержания или концентрации в анализируемой пробе. Излучение от сгорания атомов или ионов химического элемента обладает заданной длиной волны, поэтому интенсивность спектральных линий на определенных длинах волн показывает количественное содержание каждого элемента (рис. 4). Управление системой регистрации спектра, обработку сигнала и вычисление концентраций химических элементов осуществляет компьютер.

На пятом этапе специальная программа обрабатывает результаты экспериментальных исследований. Оценивается концентрация основных

химических элементов и концентрация вредных примесей в материале. В ходе исследований был проанализирован образец литейной стали 20ГЛ (табл. 1) и соответствие его химического состава требованиями ГОСТ 32400-2013 «Рама боковая и балка надрессорная литые тележек железнодорожных грузовых вагонов».

Таблица 1

Протокол спектрального анализа образца литейной стали 20ГЛ

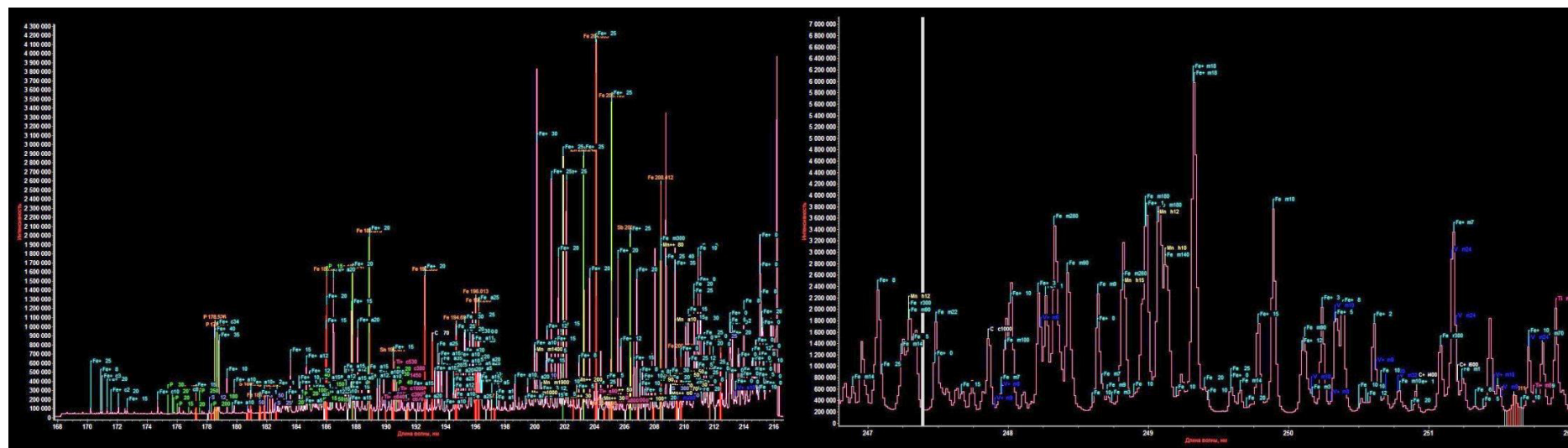
№ имз.	B	C	Al	Si	P	S	Ca	Ti
1	<0.0005	0.199	0.021	0.367	0.004	0.009	~0.009	<0.001
2	<0.0005	0.229	0.022	0.358	0.007	0.012	~0.009	<0.001
3	<0.0005	0.235	0.020	0.358	0.004	0.012	~0.008	<0.001
4	<0.0005	0.197	0.021	0.357	0.005	0.013	~0.037	<0.001
5	<0.0005	0.201	0.021	0.357	0.004	0.011	~0.012	<0.001
6	<0.0005	0.172	0.020	0.325	0.006	0.015	~0.004	<0.001
7	<0.0005	0.180	0.022	0.367	0.004	0.009	~0.016	<0.001
8	<0.0005	0.141	0.021	0.352	0.004	0.009	~0.005	<0.001
Среднее	<0.0005	0.194	0.021	0.355	0.005	0.011	~0.012	<0.001
20ГЛ		0.170 - 0.250	0.020- 0.060	0.300 - 0.500	0.000 - 0.020	0.000 - 0.020		
№ имз.	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
1	0.004	0.035	1.241	98.031	<0.005	0.017	0.047	0.001
2	0.004	0.032	1.228	98.014	<0.005	0.017	0.048	0.001
3	0.005	0.032	1.233	98.016	<0.005	0.018	0.045	0.001
4	0.002	0.033	1.231	98.027	<0.005	0.016	0.045	0.002
5	0.007	0.032	1.228	98.048	<0.005	0.018	0.046	0.001
6	0.004	0.033	1.207	98.133	<0.005	0.018	0.049	0.003
7	0.009	0.034	1.242	98.036	<0.005	0.016	0.044	0.001
8	0.009	0.034	1.237	98.102	<0.005	0.017	0.048	0.001
Среднее	0.006	0.033	1.231	98.051	<0.005	0.017	0.047	0.001
20ГЛ		0.000 - 0.300	1.100 - 1.400			0.000 - 0.300	0.000 - 0.600	

Окончание таблицы 1

№ имз.	As	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	W	Pb
1	<0.003	<0.003	<0.01	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
2	<0.003	<0.003	<0.01	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
3	<0.003	<0.003	<0.01	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
4	<0.003	<0.003	<0.01	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
5	<0.003	<0.003	<0.01	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
6	<0.003	<0.003	<0.01	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
7	<0.003	<0.003	<0.01	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
8	<0.003	<0.003	<0.01	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Среднее	<0.003	<0.003	<0.01	<0.003	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
20ГЛ								

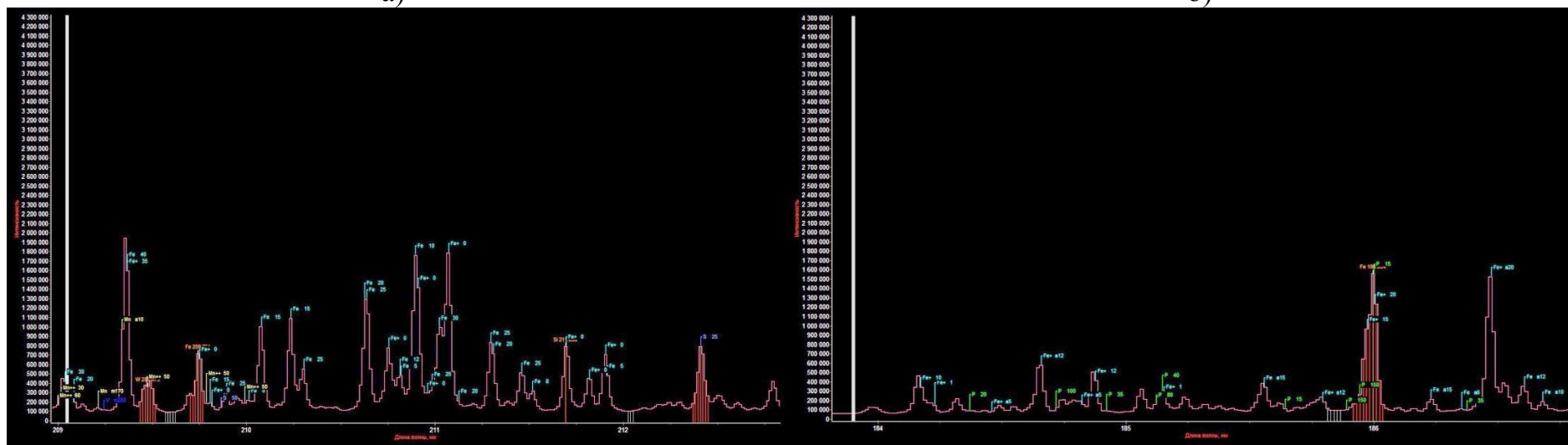
Установлено, что химический состав проанализированного образца полностью соответствует требованиям п. 4.2.1 ГОСТ 32400-2013 (см. табл. 1) в части соответствия рекомендуемым маркам стали для изготовления боковой рамы и наддрессорной балки тележки грузового вагона.

Таким образом, спектральный количественный анализ дает возможность определять качественный и количественный состав вещества. В отличие от других методов анализа, ему характерна высокая чувствительность и быстрота выполнения. Одним из преимуществ эмиссионного спектрального анализа является то, что для его осуществления требуется небольшое количество материала. При этом с его помощью определяют концентрации многих химических элементов, содержание которых не превышает тысячные и десятитысячные доли процента, в результате чего возможно абсолютно точно определить химический состав сплава и оценить качество материала.



а)

б)



в)

г)

Рис. 4. График интенсивности элементов: а) – основных металлов; б) – серы; в) – фосфора; г) – ванадия

Список литературы

1. Быков, Б. В. Конструкция тележек грузовых и пассажирских вагонов: Иллюстрированное учебное пособие / Б. В. Быков. – М.: Маршрут, 2004. – 36 с.
2. Жуков, А. Ф. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа / А. Ф. Жуков. – М.: Химия, 2001. – 365 с.
3. Ладыженский, Б. Н. Литейное производство / Б. Н. Ладыженский. – М.: Машгиз, 2006. – 204 с.
4. ГОСТ 9246-2013 «Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия».
5. ГОСТ 32400-2013 «Рама боковая и балка надрессорная литые тележек железнодорожных грузовых вагонов. Технические условия».

УДК 629.488.25

В. А. Смирнов, К. В. Панов

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ ВАГОНОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Рассматриваются вопрос повышения уровня автоматизации контроля и управления технологическим комплексом дробеструйной очистки подвижного состава в процессе их ремонта. Предложено повысить автоматизацию технологического оборудования за счет системы технического зрения. Описан разработанный автоматизированный комплекс дробеструйной очистки вагонов подвижного состава.

На передовых отечественных производственных предприятиях используется практика применение автоматизированных технологических комплексов, что позволяет обеспечить повышение производительности; экономию производственных площадей за счет концентрации технологических операций в составе нескольких позиций; снижение энергозатрат на единицу ремонта [1].

Однако применение подобных технологических комплексов может быть невыгодно в условиях ремонтного производства тягового подвижного состава в мелко и среднесерийном выпуске продукции в связи с принципиальной

невозможностью переналадки автоматического оборудования к ремонту нового типа локомотива, адаптивность технологического оборудования к ремонту локомотивов различных серий и т.д. [2]

Сокращение времени переналадки оборудования, кардинальное улучшение показателей оперативной и стратегической гибкости в ремонтном производстве наряду с экономией производственных площадей, сокращением потребления топливно-энергетических ресурсов в наибольшей степени обеспечивает роботизация сложных и трудоемких технологических операций.

Так, например, дробеструйная установка очистки кузовов подвижного состава с промышленным роботом Blastman B20S компании Blastman Robotics Ltd (рис. 1) [3], который обладает отличной досягаемостью в самые труднодоступные участки обрабатываемой детали, поэтому легко справляется с очисткой наиболее сложных деталей. Однако, применение установки на производстве с большим типом различных кузовов подвижного состава не будет являться эффективным, так как робота придется «обучать» для каждого нового типа объекта обработки, поэтому произвести быструю переналадку производственного процесса с его использованием невозможно.

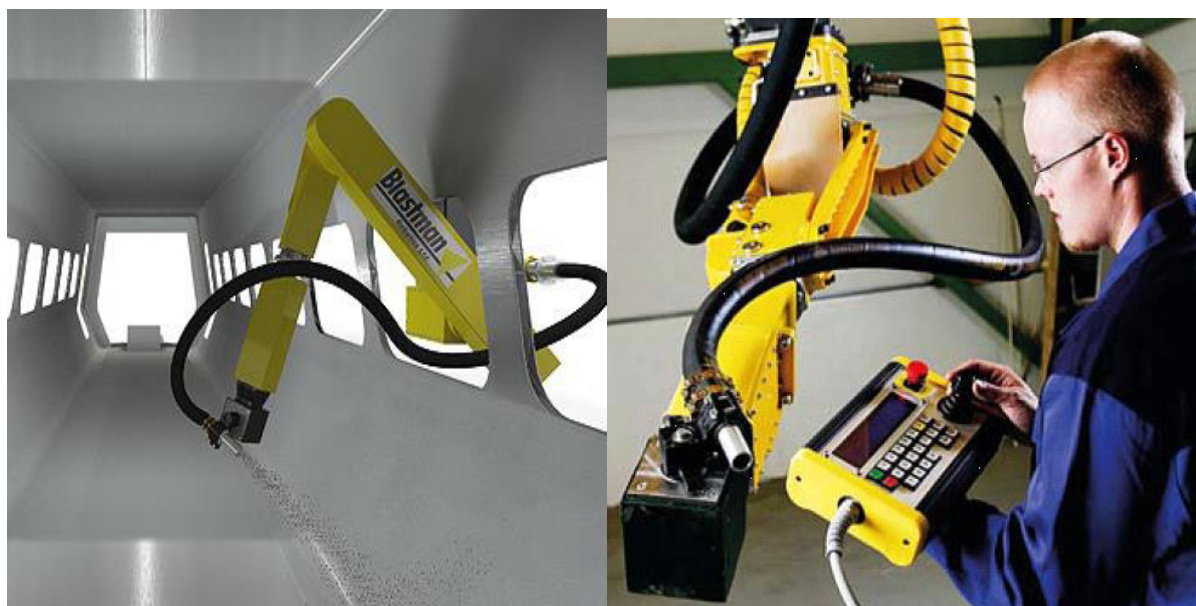


Рис. 1. Дробеструйная установка очистки кузовов подвижного состава с промышленным роботом Blastman B20 (Германия)

Увеличение автоматизации технологических комплексов на предприятиях по ремонту подвижного состава можно добиться за счет внедрения системы технического зрения по методу лазерной триангуляции [4].

На рис. 2 изображен автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог, состоящий из закрытой металлической камеры 1, ложных тележек 2 на который устанавливается кузов 3 или иной узел/деталь подвижного состава. Перемещение дробеструйного пистолета 4 обеспечивает механический робот мостовой конструкции 5. Перемещение цифровой системы технического зрения 6, в которую входит цифровая видеокамера 7 и лазерный модуль 8, обеспечивается манипулятором 9. Монорельсовое основание 13 передвигает систему технического зрения вдоль всего объекта очистки, а реечное основание 14 перемещает систему в вертикальной плоскости. Струя дроби, направляемая на очищаемый участок поверхности, формируется дробеструйным аппаратом 10. Пульт управления 11 находится в комнате оператора 12, который запускает установку и возможные ручные и полуавтоматические режимы работы всего комплекса.

Подлежащие очистке кузов подвижного состава железных дорог 3, устанавливаются в закрытую металлическую камеру 1 при помощи ложных тележек 2. После установки объекта очистки оператор запускает комплекс дробеструйной очистки, при помощи пульта управления 11, который находится в комнате оператора 11, и камера 1 изолируется. Включается система технического зрения 6 объекта очистки, лазерный модуль 8 проецирует на кузов световой импульс (лазерную линию), а цифровая видеокамера 7 фиксирует расположение лазера на поверхности объекта. Монорельсовое основание 13 передвигает систему технического зрения вдоль всего объекта очистки, а реечное основание 14 перемещает систему в вертикальной плоскости и в зависимости от того, как полоса продвигается по поверхности кузова, лазер появляется в различных местах поля зрения цифровой видеокамеры, тем самым создавая трехмерную модель двигателя при помощи специальной программы на микро-ЭВМ. После распознавания объекта очистки микро-ЭВМ прокладывает маршрут для дробеструйного пистолета 9 вдоль поверхности объекта, после чего задает управляющие сигналы для робота 5. Робот 5 доставляет дробеструйный пистолет на очищаемый участок поверхности, в каждую точку рабочего пространства камеры вдоль поверхности кузова 3. В этот момент времени дробеструйный аппарат 10 формирует струю дроби, которая попадая на поверхность узла или детали, очищает его от продуктов коррозии, а также от остатков старого покрытия.

Рис. 2. Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог

Использованная дробь может поступать в приемные бункера дробеструйных аппаратов для повторного использования. После завершения программы очистки робот мостового типа останавливается и прекращается подача дробы. Далее идет формирование отчета при помощи микро-ЭВМ, в котором отражается количество использованного материала, время очистки, описание трехмерной поверхности и сохранение его в базу данных для дальнейшего управления роботом 5 не используя систему технического зрения 6. Управление исполнительными механизмами комплекса также можно производить в ручном режиме.

Использование подобных технологий повысит качество и обеспечение адаптивности автоматизированного комплекса к очистке различных типов кузовов подвижного состава, отличающихся по конструкции. Так же, позволит очищать и другие крупногабаритные детали подвижного состава сложной конфигурации (например, тележка подвижного состава), при этом обеспечивая высокое качество очистки при минимальном расходе ресурсов и высокий уровень автоматизации при минимальном затратах времени на операцию.

Список литературы

1. Смирнов, В. А. Анализ современных форм организации локомотиворемонтного производства [Текст] / В. А. Смирнов, К. В. Панов // Вестник института тяги и подвижного состава. - Дальневосточный государственный университет путей сообщения. - Хабаровск, 2015. – Вып. 11. – С. 11 – 15.

2. Смирнов, В. А. Перспективные формы организации локомотиворемонтного производства / В. А. Смирнов, К. В. Панов // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2014». Часть 2. Технические науки. – Ростов-на-Дону, 2014. – С. 121 – 123.

3. Blastman robots [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.blastman.com/products-and-industries/products/robots/gantry-type-robots-ru/>. Дата обращения: 20.09.2017 г.).

4. Панов, К. В. Перспективы повышения автоматизации технологических комплексов на предприятиях по ремонту подвижного состава / К. В. Панов // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на

транспорте: Материалы научной конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – С. 252 – 257.

5. Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог: пат. 170076 Рос. Федерация: МПК51 В 60 S 3/04 / В. А. Смирнов, К. В. Панов; заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. – № 2016125051; заявл. 22.06.2016; опубл. 13.04.2017, Бюл. № 11. – 4 с.

УДК 621.9.015: 625.032.32

М. И. Бисерикан, Ю. С. Хабибулина

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР С КОНТАКТНО-УСТАЛОСТНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ

В статье рассмотрено влияние технологических наследственных неровностей, возникающих вследствие недостаточно эффективной технологии ремонта, на процесс контактного взаимодействия и изнашивания в системе «колесо-рельс». Представлен технологический метод, позволяющий обеспечить необходимые показатели качества поверхности катания колеса.

При движении колеса грузового вагона поверхность катания испытывает значительные динамические нагрузки, изменяющие в широких пределах. Под действием переменных циклических нагрузок происходит накопление усталостных повреждений. Введение в эксплуатацию колесных пар из стали с повышенной твердостью до $HV = 3200 - 3600$ МПа и временным сопротивлением $\sigma_b = 1020 - 1180$ МПа [1] привело к увеличению таких дефектов поверхности катания как ползуны и выщербины, относящимся к дефектам термомеханической и контактно-усталостной природы (рис. 1). Изношенный профиль восстанавливается механической обработкой. Обработка колес, обладающих дефектами усталостного происхождения на поверхности катания, вызывает трудности при ремонте, так как при этом процесс обточки сопровождается вибрациями и ударными нагрузками, отрицательно влияющими на режущий инструмент и станочное оборудование, что приводит к

недостаточному качеству обработанной поверхности. Кроме того, при этом снимается в стружку значительный слой полезного металла, что сокращает срок службы колеса. Соответственно, срок службы колесных пар определяется интенсивностью износа колес по гребню и поверхности катания, и зависит от толщины материала уходящего в стружку при ремонте.

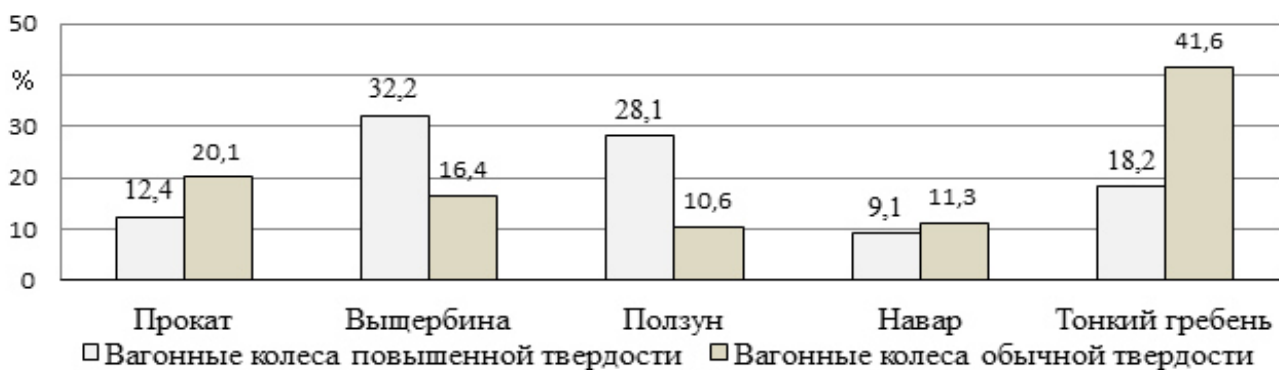


Рис. 1. Распределение числа дефектов, образовавшихся в процессе эксплуатации колесных пар

На качество поверхности после ремонта влияет жесткость технологической системы СПИД используемого при ремонте станочного оборудования. На размеры технологически наследованных выступов или впадин (ТНВ) оказывают влияние режимы резания, состояние режущего инструмента, качество поверхности после черновой обработки, размеры дефекта, что определяет параметры волнистости и шероховатости поверхности. При ремонте обточка представляет собой геометрически параллельный перенос кривой профиля вглубь обода колеса, на величину необходимую для устранения неисправности. Поэтому основная составляющая величины припуска зависит от максимальной глубины дефекта T_{Di} (рис. 2), который может быть устранен обточкой.

При этом одна часть погрешностей возникает при механической обработке, другая – наследуется от изношенной поверхности. К ТНВ относятся погрешности формы, определяемые неравномерностью толщины срезаемого слоя, деформацией детали и погрешностью формы полученной в эксплуатации и нестабильность механических свойств.

Частичное копирование обрабатываемой поверхность происходит на месте ползуна либо выщербины. При удалении ползуна происходит усиление отжима режущего инструмента, уменьшается фактическая глубина резания в

результате резкого и значительного повышения твердости и силы резания, что приводит к образованию выступа (рис. 3 а). При удалении выщербины, при входе в нее, режущий инструмент разгружается (снимается тонкий слой материала), и в результате действия сил упругости уходит вглубь обрабатываемой поверхности. Затем, при выходе инструмента из выщербины происходит удар о ее стенку, скачкообразно увеличивается глубина и силы резания, и как следствие, происходит образование выступа (рис. 3 б).

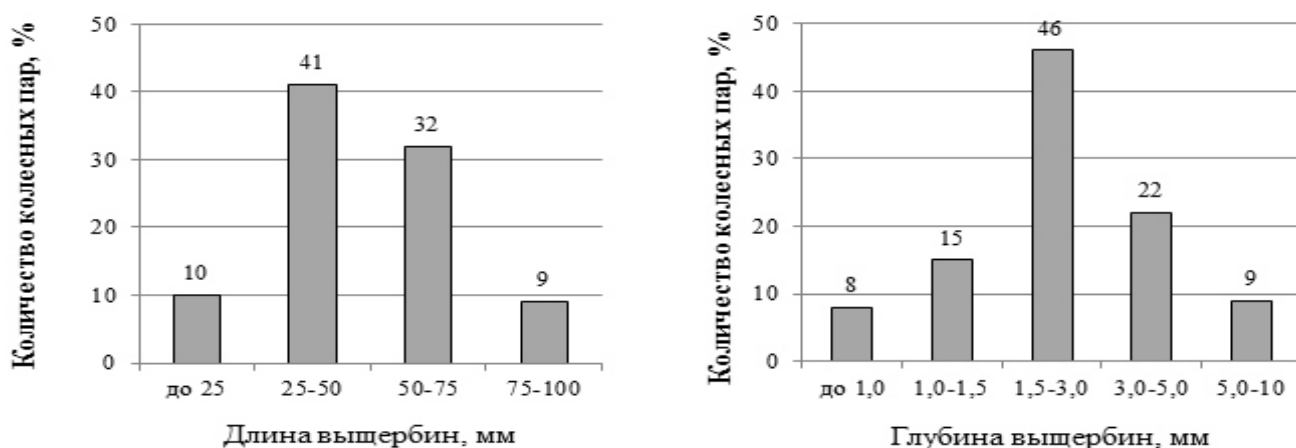


Рис. 2. Параметры выщербин, возникающих в эксплуатации

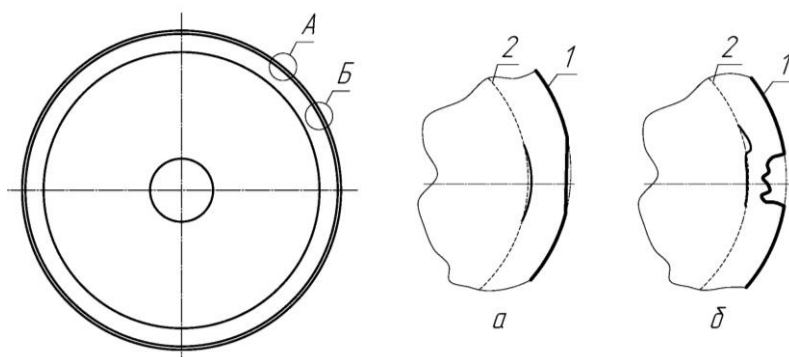


Рис. 3. Схема образования технологически наследственного выступа:

1 – обрабатываемая поверхность с дефектом; 2 – обработанная поверхность;
а – при обработке ползуна; б – при обработке выщербины

Величина припуска, для компенсации погрешностей обработки, может быть определена по методике, рекомендованной В. М. Кованом [2]:

$$2Z_0 = 2 \cdot \left(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) + TA_i + TD_i, \quad (1)$$

где, ρ_{i-1} – пространственное отклонение расположения обработанной поверхности относительно базовых поверхностей заготовки предшествующего

перехода; TA_i – допуск размера на выполняемой операции; T_{i-1} – толщина дефектного слоя после предшествующего перехода; R_{Zi-1} – шероховатость профиля, полученная после $i-1$ перехода; ε_i – погрешность установки, возникающая на выполняемом переходе.

Погрешности формы восстановленной поверхности в определенной степени определяются погрешностями исходной поверхности. Это связано с изменением отжатия заготовки и инструмента Δ_p вследствие изменения сил, определяемой, взаимосвязью между жесткостью системы и возникающих в ней сил:

$$\Delta_p = \frac{P}{J}, \quad (2)$$

где, P – значение силы резания, Н; J – жесткость технологической системы, Н/м.

Жесткость колесотокарных станков UBВ 112, применяемых в вагонных депо Омска находится в пределах $(7,6 - 13,4)10^7$ Н/м. Отклонения размеров зависят от величины сил резания, развиваемых при восстановлении профиля, и представлены на рис. 4.

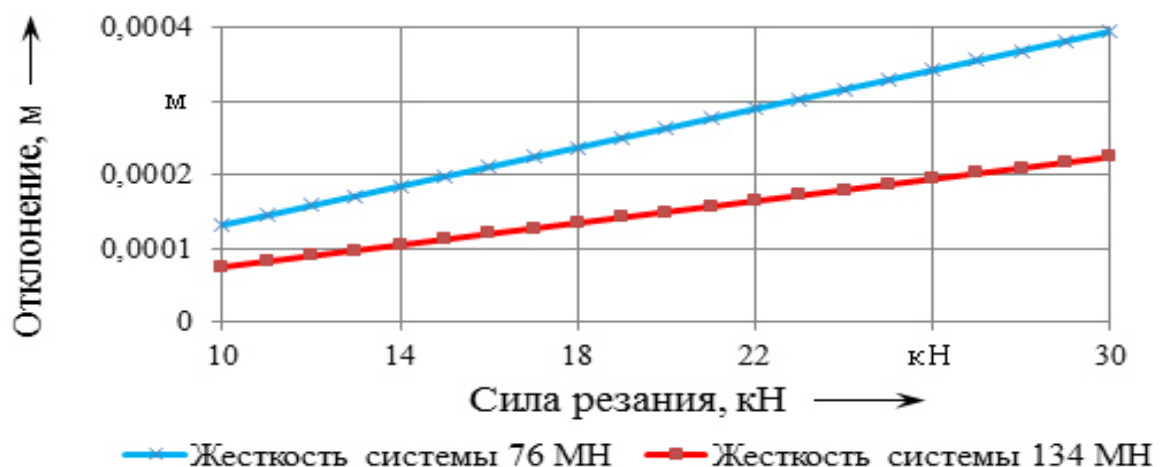


Рис. 4. Влияние силы резания на отклонение размеров, обусловленное упругостью системы

Погрешности от размерного износа инструмента и от тепловых деформаций являются систематическими, зависят от свойств обрабатываемого материала, размеров поверхности и режимов резания. Таким образом, допуск на диаметральный размер поверхности катания учитывающий данные погрешности определяется следующим образом:

$$TA_i \geq 1.15 \cdot \left(\Delta_p + \frac{I_0(L + L_{\text{доп}})}{1000} \right), \quad (3)$$

где, L - длина пути резания, м; I_0 – относительная интенсивность изнашивания по длине пути резания, мкм/м; $L_{\text{доп}}$ - длина пути резания, учитывающая начальный износ, м.

Значение глубины резания на обработку для достижения требуемого качества составит:

$$t_p \geq \left(R_{Zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) + 0.575 \left(\Delta_p + \frac{I_0(L + L_{\text{доп}})}{1000} \right), \quad (4)$$

По выражению (4) определено максимальное значение глубины резания, в зависимости от высоты отклонений профиля (рис. 5).

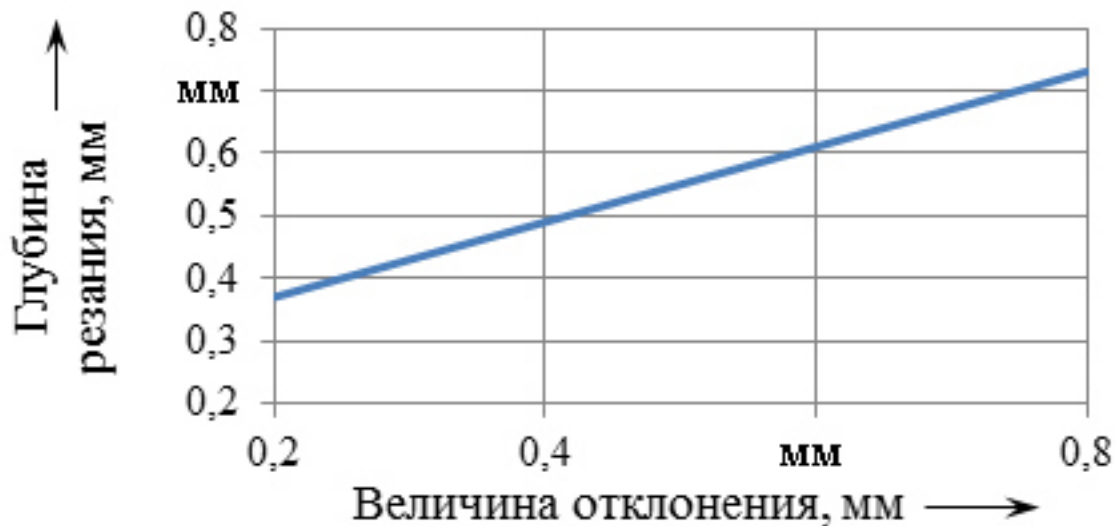


Рис. 5. Зависимость между отклонением размеров и глубиной резания

Припуск на обработку профиля колеса подвижного состава, в большинстве случаев, как по длине профиля, так и по длине окружности колеса, колеблется в весьма широких пределах, что приводит к не постоянству глубины резания и перепаду сил резания. Изменение глубины резания по длине окружности колеса является наиболее неблагоприятным явлением, так как происходит перепад силовых нагрузок в более короткий промежуток времени по сравнению с изменением нагрузок по длине профиля, что является причиной возникновения ударных нагрузок.

Для повышения качества обработанной поверхности катания обточкой необходимо изменить существующие режимы обработки колес.

Особенностью модернизированной чистовой операции является назначение в качестве базовой величины радиус, соответствующий максимальной высоте волнистости, что позволяет уточнить профиль поверхности катания со снятием минимального слоя металла, так как срезаются только вершины волнистости, высота которых превосходит установленное значение.

Множество значений припуска по длине окружности колеса определяется следующим выражением:

$$\bar{\Pi} = \bar{y}(x) - R_0 - z, \quad (4)$$

где, $\bar{y}(x)$ – выражение описывающие профиль колеса по длине окружности;

z – изменение глубины резания в результате упругого отжатия режущего инструмента; R_0 – номинальный радиус вагонного колеса после обточки, мм.

Тогда множество значений глубины резания выражается как

$$\bar{t} = \frac{\bar{\Pi}}{i}, \quad (5)$$

где, i – число проходов при обработке.

Таким образом, необходимо определить такое значение y^* вектора y , для которого целевая функция $\Phi(y)$ (наименьшее отклонение профиля от номинального и минимальное машинное время на выполнение обточки профиля колеса) принимает минимальное значение в множестве R (ограничения, определяющих множество допустимых сочетаний режимов), т. е.:

$$\Phi(y^*) = \min \{ \Phi(y) | y \in R \}, \quad (6)$$

Для решения данной задачи применим метод множителей Лагранжа и зададим ограничения целевой функции согласно[142]:

1. Ограничение по мощности главного привода.

$$h_1 = 60 \cdot k_p \cdot t \cdot s \cdot \sigma_e \cdot V - W_{\Sigma} \cdot \eta_c \cdot k_n \leq 0; \quad (7)$$

2. Ограничение по продольной подаче.

$$h_2 = \frac{k_p \cdot t \cdot s \cdot \sigma_e}{3} - P_x \leq 0; \quad (8)$$

3. Ограничение по прочности механизма коробки скоростей.

$$h_3 = \frac{k_p \cdot t \cdot s \cdot \sigma_e \cdot D_{\kappa}}{2} - M_{\kappa p} \leq 0; \quad (9)$$

4. Ограничение по прочности режущей пластины на сжатие.

$$h_4 = k_p \cdot \sigma_e - 0.9 \cdot \sigma_{сж} \leq 0 \quad (10)$$

5. Ограничение по прочности режущей пластины на удар.

$$h_5 = k_p \cdot \sigma_e \cdot (5.95 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 + 0.023V + 1.499) - 0.9 \cdot \sigma_{сж} \leq 0; \quad (11)$$

6. Ограничение по высоте макрогеометрических отклонений.

Данное ограничение необходимо для предотвращения скатывания целевой функции в область локального минимума и исключения нулевого значения функции, т.е. назначение какой-либо заданной величины макронеровностей в зависимости от условий эксплуатации колесных пар, например для колес вагонов движущихся со скоростью до 120 км/ч $z \leq 0,19$ мм:

$$h_6 = \frac{k_p \cdot \sigma_e \cdot (5.95 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 + 0.023V + 1.499)}{J} - z^2 \leq 0; \quad (12)$$

По данной математической модели на ЭВМ определяются оптимальные сочетания режимов резания при чистовой обработке профиля колеса, согласно блок-схеме алгоритма расчета представленного на рис. 6.

Существующая технология ремонта не учитывает многообразие факторов влияющих на процесс механической обработки. Используемый метод обработки, предполагающий установление значительной глубины резания «под корку» сопровождается как высокими средними значениями силы резания, так и значительными ударными воздействиями. Значительные силы резания – свыше 20 кН при обработке поверхности катания с выщербинами, приводят к поломке режущего инструмента. В результате происходит существенное, в 1,5-2 раза увеличение стоимости ремонта по сравнению со стоимостью ремонта колес без дефектов. При этом, зачастую ставится лишь сама возможность удаления с поверхности катания дефектов, без учета низкого качества полученной поверхности. Другим отрицательным фактором сопровождающим обработку данным способом, является снятие в стружку слоя металла надлежащего качества.

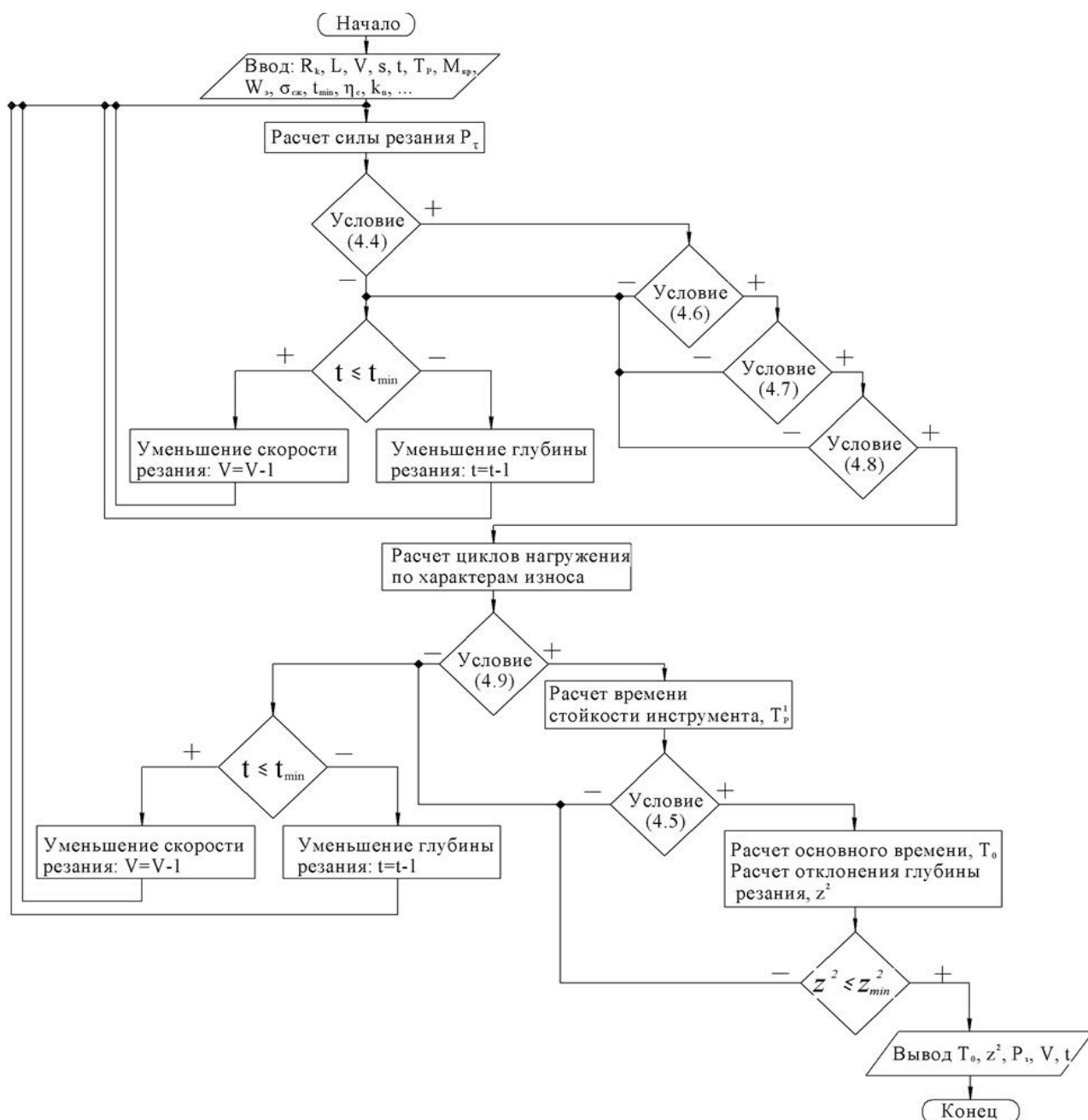


Рис. 6. Блок- схема алгоритма расчета режимов резания при восстановлении профиля поверхности катания

Оценить качество восстановленной поверхности, возможно учитывая ее влияние на скорость изнашивания в процессе взаимодействия колеса с рельсом [3]. В результате моделирования данного процесса определено влияние скорости движения подвижного состава и макрогеометрических отклонений поверхности катания на интенсивность изнашивания, так как происходит увеличение номинального давления в пятне контакта (рис. 5).

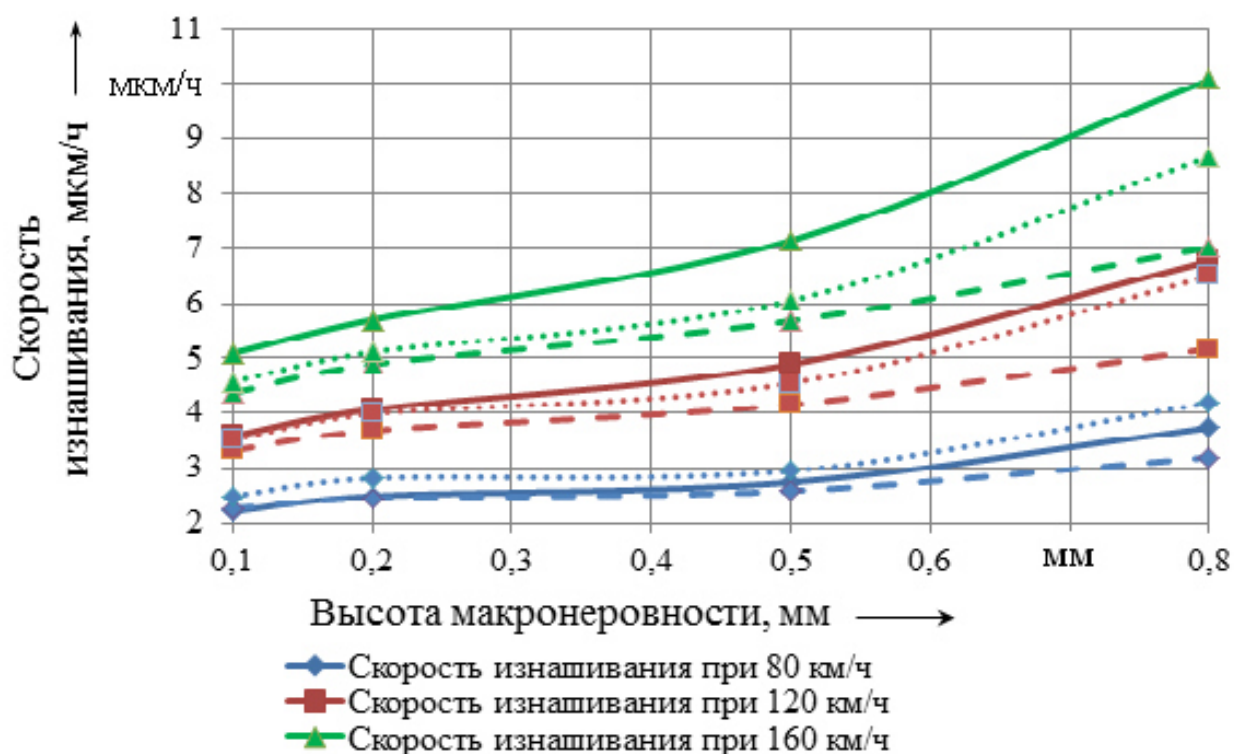


Рис. 7. Зависимость скорости изнашивания поверхности катания колесных пар от скорости движения и высоты макронеровности

При увеличении высоты макронеровности с 0,5 до 0,8 мм скорость абразивного износа повышается в 1,5 раза, что сокращает величину пробега колеса в эксплуатации, и кроме того, может способствовать интенсивному усталостному разрушению поверхности катания. Таким образом, восстановление профиля поверхности катания колес в ремонтном производстве требует особого подхода в обеспечении качества ремонта, так как качество ремонта оказывает существенное влияние на обеспечение регламентированного пробега.

Список литературы

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : по материалам Министерства транспорта РФ // Федеративные отношения и региональная социально-экономическая политика. – 2008. – N 5 (112). – С. 8 – 34.
2. Основы технологии машиностроения [Текст] / В. М. Кован и др. – М. : Машиностроение, 1965. – 489 с.

3. Бисерикан, М. И. Влияние качества механической обработки на технический ресурс колес подвижного состава [Текст] / М. И. Бисерикан, В. В. Иванов // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2015. – № 3 (143). – С. 60 – 65.

УДК 621.2+620(035)

Р. А. Ахмеджанов, Ф. В. Чегодаев, М. В. Катин

ШИРОКОЗАХВАТНЫЙ НАКЛАДНОЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Предложен вариант широкозахватного вихретокового преобразователя в виде совокупности плоских накладных конструкций

Накладной вихретоковый преобразователь (ВТП) вихретоковых дефектоскопов, применяемых в ремонтном производстве подвижного состава, состоит из круговой катушки прямоугольного сечения, снабженной ферромагнитным сердечником, выполненным, как правило, из феррита.

При сканировании поверхности объекта контроля (ОК) торец сердечника, находясь в точечном механическом контакте с последним, интенсивно изнашивается, что приводит к уходу характеристик ВТП и к изменению настройки прибора. Используемые всевозможные защитные насадки снижают технологичность вихретокового контроля. Технологический зазор здесь не превышает 0,5 мм, и ВТП фактически является датчиком этого контакта. При этом имеющийся электромагнитный «точечный контакт» феррит – металл накладывает определенные ограничения на обеспечение этого зазора между ВТП и поверхностью металла, а также на глубину проникновения поля (она тоже «точечная», что влечет за собой снижение чувствительности»), что требует серьезной очистки контролируемой поверхности. Такой ВТП измеряет только одну величину – магнитный поток через ферритовый сердечник, преобразуя его в свою индуктивность и выдавая в каждый момент времени одно численное значение, снижая отношение сигнал/шум, причем, это

обстоятельство усугубляется наличием шероховатости на линии сканирования, соизмеримой по уровню с размером «точечного контакта».

Невозможно «разбить» точечный «ВТП – контакт» на несколько независимых пространственных зон и отсюда, как результат, малая его информативность. По этой же причине имеет место низкая производительность дефектоскопирования, поскольку для обеспечения 100-процентного контроля поверхности ОК требуется мелкий шаг сканирования.

Использование трансформаторного ВТП, состоящего из двух плоских дисковых катушек, вложенных одна в другую и приклеенных к керамической пластине, позволяет избавиться от большинства приведенных недостатков. Материал пластины и ее относительно большая площадь обуславливают незначительный износ и, следовательно, пренебрежимо малые изменения электромагнитных характеристик ВТП. Здесь плоская катушка целиком «погружена» в магнитное поле вихревых токов, что улучшает информационные, энергетические, шумовые и габаритные параметры.

Зазор «катушка – металл» может составлять 75 % ее диаметра. Как показывают расчеты и практика применения металлоискателей, катушка диаметром 300 мм «находит» монету диаметром 25 мм на глубине 500 мм. Используя принцип подобия, теоретически можно предположить, что ВТП диаметром 10 мм «обнаруживает» дефект диаметром 0,8 мм на расстоянии до поверхности 16 мм. То есть увеличение размера диаметра уплощенного ВТП не снижает, а наоборот увеличивает его «дальнобойность» при сохранении достаточно высокой чувствительности.

Применение плоской дисковой катушки с произвольным числом измерительных обмоток позволяет анализировать структуру магнитного поля и его пространственное распределение на основе многопараметрической информации, например, при выполнении ВТП в виде согнутых плоских катушек или катушек конусообразной формы, т. е. с приспособлением к сложным конфигурациям контролируемых ОК. При этом расширяются схемотехнические приемы отстройки от мешающих факторов и настройки на «узнавание» трещин с заданными параметрами.

Примером реализации такого подхода может служить макетный образец разработанного в Омске ВТ-дефектоскопа наружных колец буксовых подшипников и примененного в вагонном депо Московка Западно-Сибирской

железной дороги. ВТП этого дефектоскопа состоит из 36 плоских катушек, контроль выполняется одновременно за один оборот кольца, производительность 800 колец в смену – объем, превышающий план суточного ремонта подвижного состава. Образцы таких же широкозахватных ВТП, разработанных для дефектоскопии средней части оси колесной пары и внутренних колец роликоподшипников грузовых вагонов, показаны на приведенных ниже снимках.

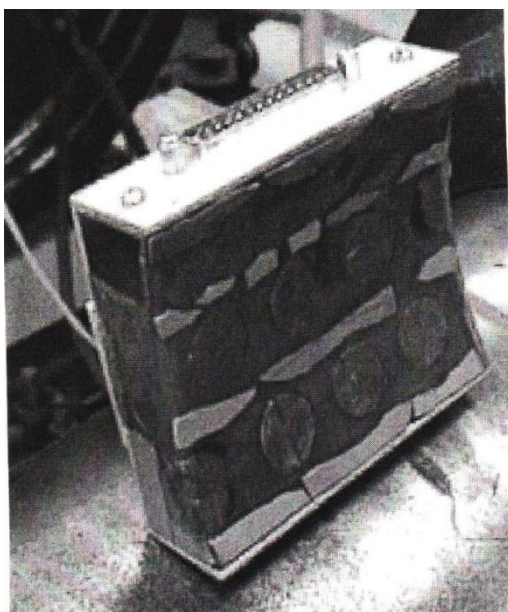


Рис. 1. ВТП для дефектоскопии
оси колесной пары

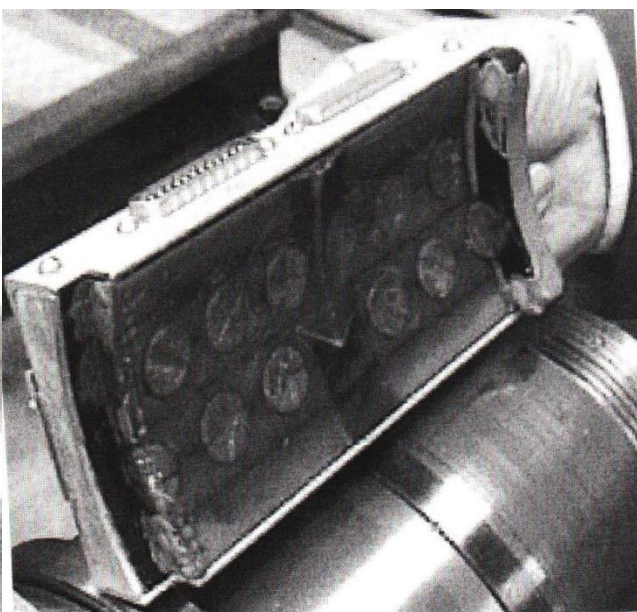


Рис. 2. ВТП для дефектоскопии
внутреннего кольца подшипника,
напрессованного на шейку оси

На основе принципа изображений [1], предложен зеркальный метод вихретокового контроля [2] с применением совокупности N накладных ВТП, содержащих каждый две индуктивно связанные плоские катушки, вложенные одна в другую. Их взаимное расположение может быть любым, но в порядке, отвечающему процессу дефектоскопирования конкретного ОК, и количество зон контроля определится как $N(N - 1)/2$. При этом методе практически устраняется влияние «эффекта края» и углов сопряжения с отрицательной и положительной кривизной поверхности ОК.

Ниже показаны предпосылки расчета параметров плоского трансформаторного ВТП на основе метода изображений.

Рассмотрим две индуктивно связанные катушки, в первой из них протекает ток $i_1 = \sin \omega t$. Имеем $\frac{di_1}{dt} = i'_1 \omega \cos \omega t$.

Предположим, что во второй катушке протекает ток i_2 , причем,

$$i_2 = A \sin \omega t + B \cos \omega t.$$

Коэффициенты А и В необходимо определить из следующего:

$$\frac{di_2}{dt} = i'_2 = A\omega \cos \omega t - B\omega \sin \omega t.$$

ЭДС, наводимая первой катушкой во вторую, равна $Li'_2 + Ri_2$, и тогда

$$M_{12}i'_1 = Li'_2 + Ri_2,$$

где M_{12} – взаимная индуктивность катушек.

Подставляем:

$$M_{12}\omega \cos \omega t = L(A\omega \cos \omega t - B\omega \sin \omega t) + R(A \sin \omega t + B \cos \omega t).$$

Это уравнение распадается на два:

$$\begin{cases} M_{12}\omega \cos \omega t = LA\omega \sin \omega t + RB \cos \omega t \\ RA \sin \omega t = LB \sin \omega t \end{cases}.$$

Получаем системы:

$$\begin{cases} RA = L\omega R \\ M_{12}\omega = AL\omega + BR, \quad A = \frac{\omega L}{R} \text{ или } B = A \frac{R}{L\omega}. \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{12}\omega = A \left(L\omega + \frac{R^2}{L\omega} \right) \\ M_{12}\omega = B \left[\frac{(L\omega)^2}{R} + R \right] \end{cases}$$

$$\text{Отсюда } A = \frac{M_{12}\omega}{L\omega + R^2/L\omega}; \quad B = \frac{M_{12}\omega}{(L\omega)^2/R + R}.$$

Если катушка 1 плоская и расположена на поверхности сверхпроводника, то катушка 2 является зеркальным изображением катушки 1, и $|i_2|$ равен $|i_1|$, причем в этом случае $R=0$.

Получаем $A = 1; B = 0$. Так как $A = 1$, то $M = L$, и для зеркального контура имеем:

$$A = \frac{L\omega}{L\omega + R^2/L\omega} = \frac{1}{1 + (R/L\omega)^2} = \frac{1}{1 + \varepsilon^2}, \quad \varepsilon = R/L\omega.$$

$$B = \frac{L\omega}{(L\omega)^2/R + R} = \frac{L\omega/R}{1 + (L\omega/R)^2} = \frac{R/L\omega}{1 + (R/L\omega)^2} = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon^2}.$$

Если же катушка 1 расположена на плоской поверхности ферромагнетика, у которого магнитная проницаемость

$\mu > 1$ и удельная проводимость $\delta = 0$, то получим точное решение: оно представляется током зеркального контура: $i_2 = -i_1 \left(\frac{\mu-1}{\mu+1} \right)$, $\mu > 1$.

В другом крайнем случае, когда проводящий слой – сверхпроводник, имеется также точное решение: ток зеркального контура $i_2 = -i_1$.

Найдем решение для реального случая, когда поверхностный слой не является сверхпроводником. Его можно симитировать плоской катушкой с током i_1 , находящейся на поверхности плоского материала с $\mu > 1, \delta = 0$, который является ферромагнитным и когда между поверхностью и плоской катушкой расположена плоская бесконечно тонкая замкнутая катушка, аналогичная катушке 1, но которая имеет параметры R и L . В соответствии с принципом зеркальных изображений обе катушки имеют свои изображения.

Решение этой задачи имеет вид:

$$\dot{i}_{\text{зерк}} = \dot{i}_1 \left[\frac{\mu-1}{\mu+1} - \frac{2\mu}{\mu+1} \cdot \frac{1}{1+\alpha^2} \right] \sin \omega t - \dot{i}_1 \frac{2\mu}{\mu+1} \cdot \frac{\alpha}{1+\alpha^2} \cos \omega t$$

Первое слагаемое в квадратных скобках от ферромагнетика, второе – от контура с индуктивностью L и его зеркального изображения. Здесь $1 + \frac{\mu-1}{\mu+1} = \frac{2\mu}{\mu+1}$.

Список литературы

1. Теория электромагнитного поля / В. Я. Брунов, Л. М. Голденберг и др. – М.: Энергоиздат, 1962.
2. Ахмеджанов, Р. А. Зеркальный метод вихретокового контроля / Р. А. Ахмеджанов, М. В. Катин // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: Материалы Всероссийской научно-технической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2013. – С. 148 – 158.

А. В. Литвинов, Е. Г. Абишов, Д. Е. Родина

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОПИТОЧНО-СУШИЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ СЕРВИСНОГО ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО МОСКОВКА

В статье выдвигается ряд предложений по модернизации пропиточно-сушильного отделения сервисного локомотивного депо Московка.

Главная причина отказов ТЭД (тяговых электродвигателей) на локомотивах и ЭМ (электрических машин) в целом – это низкий ресурс изоляции их обмоток. Так как изоляция является наиболее уязвимым и в тоже время дорогим элементом в конструкции машины, проблеме продления её ресурса и восстановления её физико-механических свойств уделяется большое внимание. Наиболее пагубное воздействие на изоляцию оказывает влага и теплота. При поглощении изоляцией влаги снижаются её объемное и особенно поверхностное сопротивление, растет угол диэлектрических потерь и несколько повышается диэлектрическая проницаемость, снижается электрическая прочность вследствие перераспределения поля внутри изоляционного материала. При этом насыщенные влагой участки изоляции обладают очень большой диэлектрической проницаемостью, а в менее увлажненных участках резко возрастает напряженность электрического поля. Следствием этого являются пробой и межвитковые замыкания [1 – 3].

Процесс сушки изоляции обмоток ТЭД является по сути неотъемлемой частью технологического процесса пропитки изоляции. Именно удаление влаги из изоляции обмоток остова и якоря является предварительной сушкой, которая позволяет проводить дальнейшие технологические операции: пропитку и покрытие изоляции эмалью.

Существуют различные методы сушки изоляции обмоток электрических машин, конкретно для сервисного локомотивного депо Московка используется конвективный, который достигается путем применения электрических печей типа СДОС.

Доказано, что к недостаткам конвективного метода сушки изоляции обмоток электрических машин можно отнести: значительные затраты времени на этапе нагрева до заданной температуры (25–30 % от общей длительности процесса) и неравномерность распределения температуры между отдельными частями обмоток (рис. 1). Так на рис. 1 показано, что при рядном расположении якорей тяговых двигателей температура внутри камеры сушильной печи по поверхности якорей распределяется неравномерно.

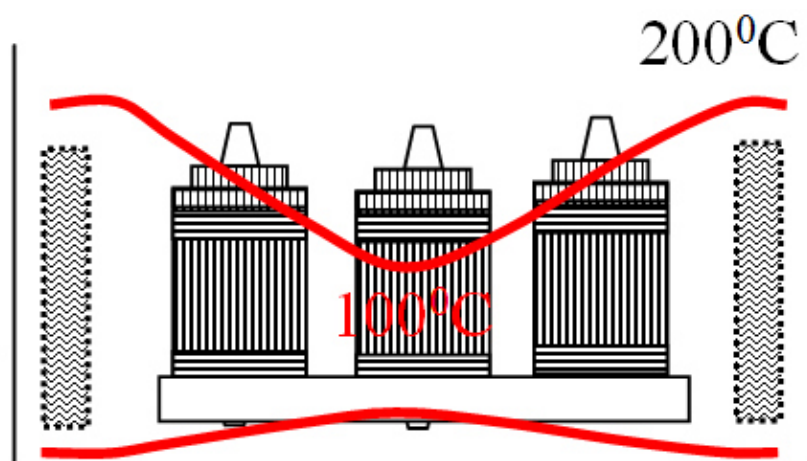


Рис. 1. График распределения температуры внутри камеры сушильной печи при рядном расположении якорей тяговых двигателей

Как отмечается в работах [2, 4, 5], наиболее эффективным по сравнению с другими методами является терморadiационный метод сушки (ИК-излучением), который имеет плотность теплового потока в разы больше других. При использовании терморadiационного метода сушки нагрев изоляции осуществляется без дополнительных тепловых и энергетических потерь. Преобразование энергии излучения в тепловую происходит в некотором слое изоляции, глубина которого определяется длиной волны и оптическими свойствами изоляционных материалов (рис. 2). Помимо всего прочего терморadiационный метод сушки является наименее энергозатратным [2, 4, 5].

В сервисном локомотивном депо Московка размещены три сушильные печи типа СДОС. Каждая из них может вместить: три остова или шесть якорей, либо три якоря и один остов.

Согласно существующим в сервисном локомотивном депо Московка технологическим картам по пропитке изоляции, предварительная сушка изоляции обмоток остова и якоря выполняется в течение 10 часов, по истечении

этого времени осуществляется замер сопротивления изоляции, которое сопоставляется с нормативным значением. При этом никак не учитывается тот факт, что получить нормативное сопротивление изоляции и оценить коэффициент абсорбции возможно при меньшем времени сушки, что позволит снизить энергозатраты по работе печи.

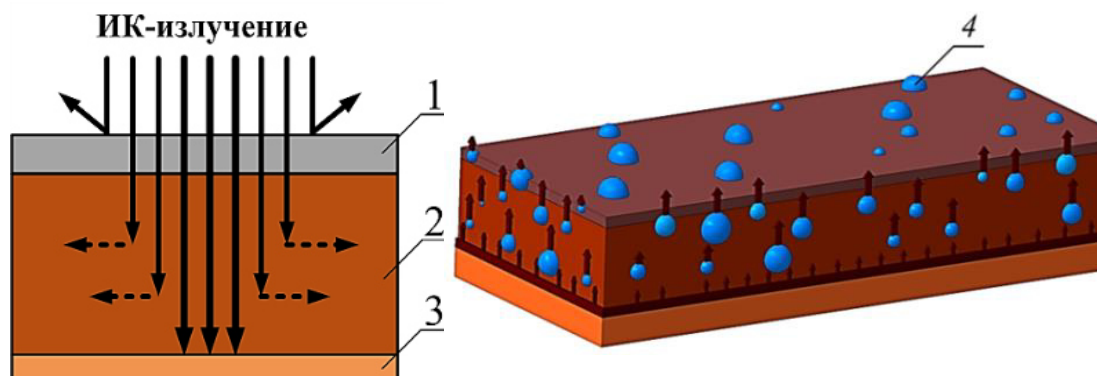


Рис. 2. Распространение ИК-лучей по глубине слоя пропитанной изоляции:

1 – электроизоляционный пропиточный материал (лак, компаунд); 2 – пропитанный изоляционный материал; 3 – проводник обмотки; 4 – пары растворителя

Исходя из имеющегося состава оборудования принято, что в одной печи будут размещаться шесть якорей, а в двух других – по 3 остова.

Предложения по совершенствованию технологии и технической оснащенности пропиточно-сушильного отделения сервисного локомотивного депо Московка заключается в следующем:

- 1) горизонтальное расположение якорей в сушильной установке;
- 2) двухуровневое расположение якорей в сушильной установке;
- 3) вращение якорей в процессе сушки;
- 4) использование поддонов для сбора излишек электроизоляционного материала;
- 5) контроль сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции во время процесса сушки (без прерывания процесса сушки);
- 6) размещение остовов в камере сушки в «шахматном» порядке, вертикально-неподвижном состоянии;
- 7) использование комбинированного метода (терморadiационного и конвективного) сушки остовов;
- 8) размещение ИК-излучателей внутри остова;
- 9) вращение ИК-излучателей в процессе сушки;

10) контроль сопротивления изоляции абсорбции обмоток остовов во время процесса сушки(без прерывания процесса).

Горизонтальное расположение якорей исключает попадание излишек электроизоляционного материала на коллектор, валы и железо якоря.

Двухуровневое расположение обеспечивает равномерный температурный теплоподвод в процессе сушки изоляции.

Вращение якорей в процессе сушки позволяет повысить эффективность теплоподвода.

Использование поддонов сбора излишек электроизоляционного материала позволит продлить срок эксплуатации сушки установки.

Контроль сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции во время процесса сушки позволит определить состояние изоляции в конкретный момент времени.

Размещение остовов в «шахматном» порядке позволит обеспечить равномерный температурный теплоподвод в процессе сушки изоляции. Вертикальное размещение позволит упростить конструкцию ИК-излучателей.

Расположение якорей в сушильной установке приведено на рис. 3. Расположение остовов приведено на рис. 4. Общий вид ИК-излучателей приведен на рис. 5.

Использование терморadiационного и конвективного способов сушки позволит снизить энергозатраты и время сушки, эффективность указанного предложения отмечается в работах [2, 6].

Размещение ИК-излучателей внутри остова с возможностью его вращения и обеспечение подвижности для регулирования длины и угла балки при сушке различных по диаметру остовов унифицирует конструкцию сушильного устройства, сушка пазовой и лобовых частей за счет предлагаемой конструкции полюсов ИК-излучателей.

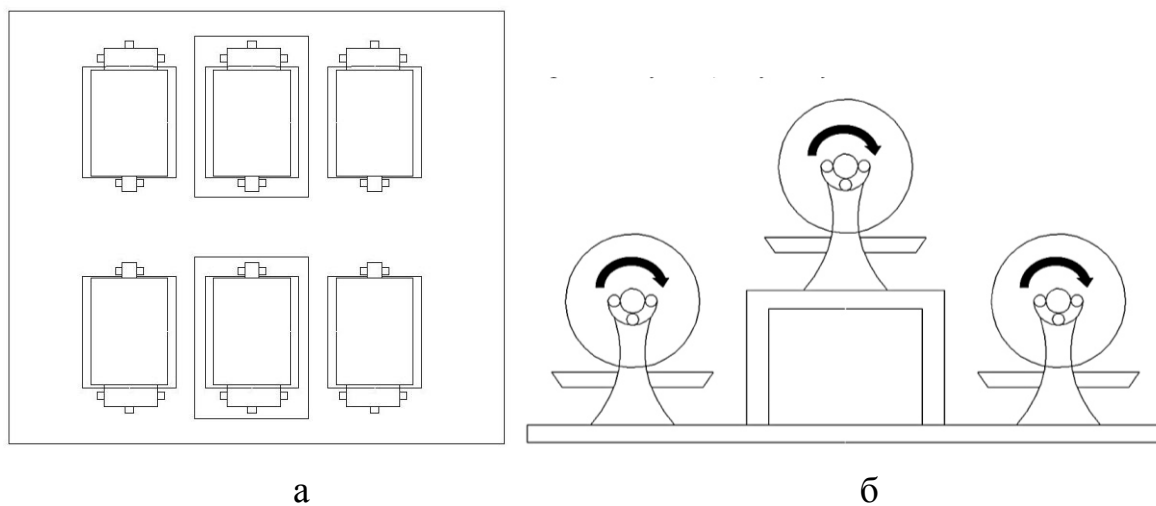


Рис. 3. Расположение якорей в сушильной установке типа СДОС:
а – вид сверху, б – главный вид

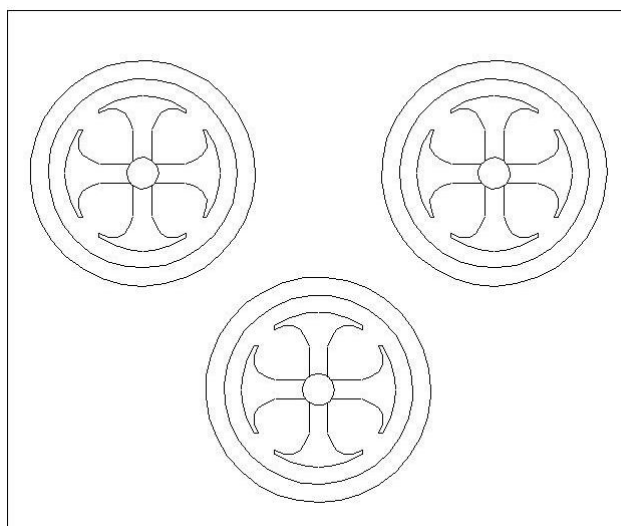


Рис. 4. Расположение остовов тяговых электродвигателей
в сушильной установке типа СДОС (вид сверху)

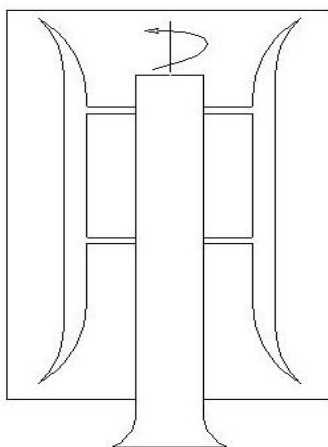


Рис. 5. Общий вид ИК-излучателей

В совокупности, вышеперечисленные предложения по совершенствованию технологии и технической оснащенности пропиточно-сушильных отделений, а именно сушильных установок СДОС, позволяет повысить эффективность сушки, сократить энерго-, время-затраты, а также повысить надежность изоляции, обеспечит возможность сушки одновременно шести ТЭД (якорей и остовов).

Список литературы

1. Инновационные технологии повышения надежности электрических машин [Текст] / А. М. Худоногов, Е. Ю. Дульский и др. // Локомотив. – № 10. – 2012. – С. 27 – 28.
2. Дульский, Е. Ю. Энергоаудит безразборной технологии ремонта магнитной системы тяговых двигателей электровозов [Текст] / Е. Ю. Дульский // Мир транспорта / под ред. Б. А. Лёвин и др. – М.: Изд-во МКЖТ МПС России, 2012. – № 3 (41) – С. 168 – 171.
3. Худоногов, А. М. Инновационная технология повышения и продления ресурса тягового подвижного состава [Текст] / А. М. Худоногов, Е. М. Лыткина, Е. Ю. Дульский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – №4. – (36). – Иркутский гос. ун-т. путей сообщения. – Иркутск. – С. 102 – 108.
4. Дульский, Е. Ю. Анализ пространственного распределения инфракрасного излучения в процессе капсулирования изоляции электрических машин тягового подвижного состава [Текст] / Е. Ю. Дульский // Вестник ИрГТУ / Иркутский гос. техн. ун-т. – Иркутск. – 2013. – № 7. – (78). – С. 132 – 136.
5. Дульский, Е. Ю. Моделирование режимов ИК-энергоподвода в технологии продления ресурса тяговых электрических машин с использованием метода конечных элементов [Текст] / Е. Ю. Дульский. // Вестник ИрГТУ / Иркутский гос. техн. ун-т. – Иркутск. – 2013. – № 12. – (83). – С. 258 – 263.
6. Лебедев, П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок / П. Д. Лебедев – М.: Государственное энергетическое издательство, 1963. – 320 с.

А. Н. Головаш, Н. Б. Куршакова

К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИИ ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ, РАБОТ И УСЛУГ В ЛОКОМОТИВНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Представлены результаты анализа толкований терминов и их определений, связанных с качеством, даны предложения по упорядочению использования термина «качество» в системе производства продукции, работ, услуг.

В последние годы вопросы терминологии привлекают внимание все большего числа ученых, что, безусловно, говорит об актуальности данной проблемы. В научно-технической, учебной, справочной литературе, а также нормативной документации разного уровня встречаются множество понятий с использованием термина «качество», например, качество продукции (работ, услуг), система качества, качество управления, качество менеджмента, управление качеством, менеджмент качества, система управления качеством, система менеджмента качества, контроль качества, система контроля качества. Неоднозначность их понимания и толкования является проблемой не только для обучающихся, но и специалистов-практиков.

В ГОСТах, разработанных в СССР и действующих в настоящее время, термины, установленные конкретными стандартами, например, ГОСТом 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» и ГОСТом 18322-78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения (с Изменениями № 1,2)», обязательны для применения в документации всех видов, научно-технической, учебной и справочной литературе. Для каждого понятия устанавливается один стандартизованный термин. Применение терминов – синонимов стандартизированного термина запрещается. При необходимости установленные определения разрешается изменять по форме изложения, не допуская нарушения границ, понятий.

Согласно ГОСТов, разработанных в Российской Федерации, в частности ГОСТ Р 27.002-2009 «Надежность в технике. Термины и определения», ГОСТ Р

27.002-2009 «Надежность в технике. Термины и определения» для каждого понятия устанавливается один стандартизованный термин. В отличие от ГОСТов, времен СССР, термины, устанавливаемые стандартами, рекомендуются для применения.... Это значит, что в ГОСТах Российской Федерации не запрещено применять термины-синонимы, что затрудняет понимание одного и того же термина.

Поскольку исполнение стандартов в Российской Федерации носят рекомендательный характер, то и требования к качеству для производителя, в том числе по ремонту подвижного состава, тоже являются рекомендательными. Для подтверждения этого вывода сравним два действующих ГОСТа по системе технического обслуживания и ремонта техники, в том числе подвижного состава. Так, в ГОСТе 18322-78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения» термины обязательны для применения в документации всех видов, научно-технической, учебной и справочной литературе; для каждого понятия установлен только один стандартизованный термин; применение терминов – синонимов стандартизованного термина запрещено. А в ГОСТе 32884-2014 «Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт железнодорожного подвижного состава. Термины и определения», установленные термины и определения понятий в области эксплуатации, технического обслуживания и ремонта железнодорожного подвижного состава рекомендуются для применения во всех видах документации и литературы в области эксплуатации, технического обслуживания и ремонта железнодорожного подвижного состава, входящих в сферу действия работ по стандартизации и/или использующих результаты этих работ. Из чего следует, что данный ГОСТ рекомендует, в том числе применять установленные им термины и определения, относящиеся к качеству, и не запрещает применять термины-синонимы, что приводит к понятийному хаосу.

Согласно ГОСТу 18322-78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения» разработанному в СССР, система ТОиР техники определяется как совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему. В соответствии с ГОСТом 32884-2014 «Эксплуатация, техническое

обслуживание и ремонт железнодорожного подвижного состава. Термины и определения» система технического обслуживания и ремонта железнодорожного подвижного состава – совокупность технических средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для выполнения задач технического обслуживания и ремонта железнодорожного подвижного состава. В обоих определениях указаны элементы системы ТОиР – средства, документация и исполнители, однако цели системы разные. В первой дефиниции это поддержание и восстановление качества изделий, входящих в систему ТОиР, во-второй, – выполнение задач технического обслуживания и ремонта железнодорожного подвижного состава. Можно заметить, что в первом определении упоминается качество, то во втором - его нет, хотя в самом ГОСТе 32884-2014 дается определение качеству отремонтированного железнодорожного подвижного состава как степени соответствия совокупности технических характеристик отремонтированного железнодорожного подвижного состава или его составных частей требованиям нормативной и технической документации. Тем самым в понятие «качество» введена неопределенность – «степень соответствия», что для системы производства продукции, работ, услуг является невыполнимым условием, так как на практике для выпуска продукции или оказания услуг обязательно имеются утвержденные регламентирующие документы и нормативно-техническая документация, которые включают в себя конкретную технологию и конкретные требования на выпускаемую продукцию, выполнение работ, оказываемые услуги.

Согласно действующему ГОСТу 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения (с Изменением N 1)» качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. В этом определении также заложены неопределенности – совокупность свойств, пригодность удовлетворять определенные потребности. Специалистам-практикам необходима конкретность, которая заключается в том, что качество должно соответствовать предъявляемым (утвержденным нормативным) требованиям в «системе производства», а изменение требований осуществляется за счет управления в «системе производства».

Требования к качеству продукции определяется показателями ее качества. В соответствии ГОСТ 15467-79, показатель качества продукции - количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления. В этом ГОСТе определение термина «показатель качества» выражен более конкретно – количественная характеристика, которая заявляется в нормативно-технической документации.

Согласно ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования» качество – степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям. На практике для того, чтобы использовать данное определение, специалистам приходится найти ответ на вопрос – как оценивать степень соответствия и для чего приводится неопределенность – «совокупность присущих характеристик объекта». В экономическом словаре приводится следующее определение «качество – это совокупность свойств, признаков продукции, товаров, услуг, работ, труда, обуславливающих их способность удовлетворять потребности и запросы людей, соответствовать своему назначению и предъявляемым требованиям» [1]. Все составляющие этого понятия тоже неопределенности, которые невозможно выполнить.

На железнодорожном транспорте согласно Правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации «сооружения, устройства, механизмы, оборудование железнодорожного транспорта, специальные программные средства, используемые для организации перевозочного процесса, должны соответствовать техническим регламентам, нормам и правилам...». В данном требовании нет упоминания о качестве, но указано на требование соответствия норм и правил. Из чего можно сделать вывод, что качество это и есть соответствие нормам и правилам, в которых нормируются также и случайные величины. Для железнодорожного транспорта – это допускаемое количество отказов на один миллион километров пробега. Все предъявляемые требования к системе ТОиР ПС должны быть конкретными, поскольку неконкретные требования в «системе производства», а тем более осуществление контроля за их выполнением, выполнить невозможно. Качество в «системе производства» – это неотъемлемое требование, выраженные в конкретных показателях, ко всем элементам системы, а также к процессам

создания, функционирования и развития системы. Несоблюдение закономерностей, в том числе невыполнение требований по установленным показателям, ведет систему к разрушению.

Согласно ГОСТу 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» управление качеством продукции – действия, осуществляемые при создании и эксплуатации или потреблении продукции в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня её качества». В этом определении «необходимый уровень качества продукции» - тоже неопределенность. При этом в ГОСТе, в отличие от названия, приводится термин «система управления качеством продукции», который определяется как совокупность управляющих органов и объектов управления, взаимодействующих с помощью материально-технических и информационных средств при управлении качеством продукции. В результате получается: система управления качеством системы производства, т.е. система над системой. Причем, искусственно разделены «действия» и «управляющие органы», которые не могут существовать друг без друга. На практике, управление «системой производства продукции» является ее неотъемлемым элементом.

В стандарте ИСО 9000, заменившем стандарт ИСО 8402 в третьем издании серии ИСО 9000, термин «управления качеством» был заменён на «менеджмент качества». В результате из-за несоответствия словосочетания «менеджмент качества» грамматике русского языка, новый термин вместо понятного «управления качеством» стал образцом туманного наукообразия [2]. Управление качеством – деятельность оперативного характера, осуществляемая руководителями и персоналом предприятия, воздействующими на процесс создания продукции с целью обеспечения её качества путём выполнения функций планирования и контроля качества, коммуникации (информации), разработки и внедрения мероприятий и принятия решений по качеству» [3]. Из определения следует, что управление качеством осуществляется только за счет оперативных действий руководства и персонала «системы производства», а стратегические и тактические действия не играют никакой роли в управлении качеством. На практике управление качеством в «системе производства» осуществляется конкретно за счет изменений

регламентной и нормативно-технической документации, а не за счет управления путем выполнения функций управления.

Согласно ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» отсутствие качества – это брак. Брак – это несоответствие требованиям, которые устанавливаются законодательными актами страны, стандартами, нормативно-технической документацией предприятия или иными аналогичными регламентирующими документами. ISO 9000 рекомендует использовать вместо брака понятие – несоответствие. Значит качество - это всего лишь соответствие регламентирующим документам и нормативно-технической документации.

Выводы:

1. В определениях термина «качество» в ГОСТах присутствуют неопределенности, которые нельзя выполнить. Требования ГОСТов Российской Федерации к качеству продукции, работ, услуг для производителя, в том числе и по ремонту подвижного состава, носят рекомендательный характер. Это приводит к тому, что производитель, особенно недобросовестный, имеет право не выполнять рекомендации.

2. Анализ терминов и их определений, связанных с термином «качество» показал наличие в них неконкретности, некорректности, неопределенностей и противоречий, особенно после введения международных стандартов ИСО. Определения этих терминов часто противоречат друг другу, не поддаются систематизации. Причиной недостатков является нарушения общих требований ГОСТа – недопустимость терминов-синонимов, а также отсутствие базы, которой является термин «система», его конкретное определение, а также закономерности создания, функционирования и развития «системы».

3. Термин «качество» в связи с наличием неопределенностей в определениях является философской категорией. Для практической деятельности «качество» - это всего лишь соответствие установленным требованиям регламентирующих документов и нормативно-технической документации.

4. Термины «система качества» и «система управления качеством», «управление» и «менеджмент», а также «система менеджмента качества» и «система управления качеством» это разные понятия. Управление является более общим понятием, чем менеджмент, так как включает автоматическое

управление с использованием современных интеллектуальных технических средств, требует знаний технологических процессов производства, экономических знаний и др. Чтобы качественно управлять системой производства, в первую очередь необходимы знания этого производства. Одной из основных закономерностей работы и элемента «системы» является наличие «управление», иначе «система» не является «системой» [4].

5. В учебной и другой литературе «управление качеством» и «менеджмент качества» используются как тождественные, что противоречит требованиям ГОСТов. Для взаимосвязи терминов в области системного подхода к управлению качеством используются термины «система», «система менеджмента», «система менеджмента качества». Эти определения указывают на то, что «управление качеством», а также «качество управления» не являются системами, и что качество – это соответствие установленным требованиям стандартов в «системе производства».

6. Базой для последующей систематизации терминов и определений, связанных с качеством может служить конкретное определение термина «система» и его закономерностей. Согласно закономерностям «системы», проблема по управлению качеством решается за счет совместной работы двух систем - «системы производства продукции, работ, услуг» и относительно независимой «системы контроля качества», как обратной связи «системы производства продукции».

Общее заключение, которое можно сделать из всего сказанного выше, следующее – нужно в ходе научной дискуссии выработать единые толкования терминов «качество», «управление качеством», «контроль качества» для системы производства продукции, работ, услуг. Предлагаются обсудить следующие определения, сформированные авторами по результатам исследования: *качество* – это соответствие требований регламентирующим документам и нормативно-технической документации; *управление качеством* – это изменения требований регламентирующих документов и нормативно-технической документацией; *контроль качества* – это действия по выполнению требований регламентирующих документов и нормативно-технической документацией.

Список литературы

1. Райзберг, Б. А. Современный экономический словарь / Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовский, Е. Б. Стародубцева – 2 изд. М.: ИНФРА – М, 1999. – 479 с.
2. Система управления качеством [Электронный ресурс] // URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 16.10.2017).
3. Управление качеством [Электронный ресурс] // URL:http://dic.academic.ru/dic.nsf/econ_dict/7330/wiki (дата обращения: 16.10.2017)
4. Головаш, А. Н. Совершенствование системы внедрения инновационных технологий в локомотивном комплексе ОАО «РЖД»: методический подход / А. Н. Головаш, Н. Б. Куршакова // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научной конференции, посвященной Дню российской науки / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2017. – С.67 – 77.

УДК 629.471

Ю. С. Дегтярёв, В. Н. Пустовой, И. К. Лакин

ТЕХНОЛОГИЯ «ИНДУСТРИЯ 4.0» В СЕРВИСНЫХ ЛОКОМОТИВНЫХ ДЕПО ГРУППЫ КОМПАНИЙ ЛОКОТЕХ

В статье описаны перспективные технологии автоматизации, объединяемые общим названием кибер-физические системы (Cyber-Physical Systems – CPS)». Описаны составляющие системы и этапы развития. Описано направление работ в группе компаний «ЛокоТех» по разработке и внедрению CPS АСУ «Сетевой график».

В качестве развития систем управления предприятиями и экономикой в целом в качестве перспективных называют такие технологии как «Цифровое производство и экономика», «Цифровизация», «Диджитализация», «Индустрия 4.0», «Смарт-предприятие», «Кибер-физические системы» и др. Все эти направления работ являются развитием технологий автоматизированных систем управления (АСУ) и отражают современный этап развития науки об

автоматизированном управлении (Кибернетики). Это в полной мере относится и к таким направлениям развития локомотивного комплекса как «Умный локомотив», «Депо Индустрия 4.0» и др.

АСУ стали активно развиваться в 50 – 60 года прошлого века, но возможности вычислительной техники были недостаточны. Только в 80 – 90 года идеи АСУ стали реальностью. К этому времени существенно развились устройства считывания информации (датчики, которые также называют сенсорами), которые в значительной степени и определяют современный этап развития АСУ.

Термин «Индустрия 4.0» появился в 2011 году: утверждалось, что сейчас происходит четвёртая промышленная революция (по мнению авторов статьи это как минимум восьмая революция после внедрения мануфактур, изобретения станков, применения пара, электричества и поточного производства, создания АСУ и программируемых станков). Поэтому более правильным представляется термин, предложенный промышленниками Германии: «Кибер-физические системы» (Cyber-Physical Systems – CPS). Выполненный авторами анализ показал, что применительно к локомотиворемонтному комплексу наиболее перспективными являются следующие направления CPS:

1. Большие данные и аналитика. Современные информационные технологии (IT) позволяют обрабатывать огромный объём данных, которые ещё 20 лет назад были не мыслимы. Причём в большинстве случаев – в режиме online. Применительно к задачам локомотивного комплекса – это, прежде всего, обработка диагностических данных бортовых микропроцессорных систем управления (МСУ) локомотивов, данных видеонаблюдения, деповских систем диагностирования. Появилась возможность хранить большой объём данных всего жизненного цикла локомотива, в т.ч. данные всех диагностических систем депо. Технология Big Data позволяет переходить от планово-предупредительной системы ремонта к ремонту по фактическому техническому состоянию при обработке большого объёма данных бортовых диагностических систем локомотивов. Кроме того, становится реальным управление надёжностью локомотивов на протяжении всего его жизненного цикла и даже жизненным циклом каждого вида его оборудования.

2. Моделирование и симуляторы. Эти технологии широко вошли в работу проектно-конструкторских организаций: 3D-моделирование с

моделированием нагрузок и аварийных ситуаций – это уже каждодневная работа конструкторов. 3D-моделирование в депо, в первую очередь, полезно для обучения, формирования электронных 3D-руководств пользователей и др.

3. Облачные вычисления. Эта технология связана с организацией программного обеспечения. Для локомотивного комплекса это особенно актуально: большое число депо по всей территории страны, часовые пояса, различные направления работ (эксплуатация, ремонт, планирование, бюджетирование) – всё это делает актуальными для транспорта применение облачных технологий. Но это направление развития больше относится к развитию средств автоматизации и не имеет железнодорожной специфики.

4. Интернет вещей. Возможности АСУ всегда были ограничены наличием датчиков и их надёжностью. На современном этапе развития промышленных систем выпускаются самые разнообразные датчики, позволяющие контролировать процессы и управлять ими. Прежде всего – это бортовые датчики технического состояния локомотива: измерение токов, напряжений, температуры и давления, скорости и сил – всё это крайне необходимо как для управления тягой локомотивов со встроенными алгоритмическими защитами, так и для диагностирования его технического состояния с планированием объёма ремонта по фактическому состоянию. Не менее важно иметь комплекс датчиков и в локомотивном депо, для контроля температурного режима, работоспособности станков, перемещения линейного оборудования по цехам и многого другого. Такой курс очень актуален: сбор данных с датчиков локомотива и депо в единой информационной системе позволяет перевести управление на качественно новый уровень. Это направление CPS иногда обозначают термином Smart («Умный»). В результате появляются термины «Умный локомотив», «Умное депо» («Цифровое депо») и др.

5. Информационная безопасность. Это главная проблема CPS: создавая распределённые ИТ-технологии в Интернете, резко возрастает риск как умышленного разрушения системы, так и из-за ошибок в программе или некорректных действий операторов. Целостность данных, их доступность и защищённость от доступа посторонних — отдельное направление работ при внедрении информационных технологий. В ОАО «РЖД» даже пошли на создание отдельной системы передачи данных (СПД), но само по себе это не даёт эффекта: все мировые вирусные атаки не миновали и ее. Как и облачные

технологии, информационная безопасность не имеет железнодорожной специфики.

6. Дополненная реальность. Это, казалось, самое фантастическое направление, которое уже стало реальностью. В ремонтных локомотивных депо очки дополненной реальности очень полезны при приёмке локомотива: квалификации приёмщика локомотивов не хватает, чтобы квалифицировано определить техническое состояние подвижного состава. Частично проблема решается благодаря использованию данных бортовых микропроцессорных систем. Но для визуального контроля очки дополненной реальности (или просто планшет) были бы очень полезны.

7. Встроенное качество. Это направление развития в CPS не выделяется в отдельное, но для локомотивного и локомотиворемонтного комплексов является очень важным следствием внедрения CPS-технологий. Наличие на борту локомотива микропроцессорных систем управления, а в депо – автоматизированных информационно-управляющих систем позволяет реализовать контроль правильности функционирования систем по принципу «Встроенное качество» - «правильно или никак». На локомотиве – это, прежде всего реализация алгоритмических защит от нарушений режимов эксплуатации локомотивов. В депо – контроль соблюдения технологии ремонта, обучение и интерактивная помощь.

В сервисных локомотивных депо ООО «ЛокоТех-Сервис» группы компаний «ЛокоТех» внедряется информационно-управляющая система АСУ ТОиР, которая комплексно реализует управление жизненным циклом локомотива на этапе его эксплуатации: мониторинг технического состояния локомотивов и режимов их эксплуатации, прогнозное и оперативное планирование постановки локомотивов на ремонт, приёмка и выдача локомотив с технического обслуживания и ремонта (ТОиР), внутрипроизводственное планирование ресурсов депо, собственно управление ТОиР с функциями встроенного качества. Внедрение АСУ «Сетевой график» должно существенно повысить надёжность локомотивов, находящихся на сервисном обслуживании с одновременным снижением издержек на их техническое обслуживание и ремонт. АСУ ТОиР полностью относится к технологии Цифровизации (Диджитализации). На базе АСУ ТОиР как раз и реализуются технологии CPS: это переход на безбумажную технологию управления, автоматизация

технического диагностирования и приёмки локомотива с применением промышленного зрения. Кибер-физические системы позволяют не только устранить ручной ввод, но и существенно повысить его объём и достоверность. Приведём несколько примеров.

Замеры колёсных пар осуществляются вручную с дальнейшим занесением данных в АСУ. Применение лазерных измерителей профиля бандажа позволят исключить ручной труд, производить многократные замеры.

Приёмка локомотива связана с большим объёмом ручного ввода информации в АСУ, в том числе акты формы ТУ-162 и ТУ-31. Использование диагностических данных бортовых микропроцессорных систем, электронного бортового журнала формы ТУ-152, очков дополненной реальности позволит полностью автоматизировать приемку локомотива на ремонт, повысить объём диагностических данных. Становится возможным переход на ремонт по фактическому техническому состоянию.

Установка RFID-меток на оборудование локомотива позволит автоматизировать учёт линейного оборудования подвижного состава и его дислокацию, расширить номенклатуру учитываемых материалов повторного использования (МПИ), наладить учёт затрат жизненного цикла не только локомотива в целом, но и каждого его узла.

Таким образом, современные технологии «Индустрия 4.0» (Кибер-физические системы), СМАРТ-предприятие, СМАРТ-транспорт, цифровизация (Диджитализация) и др. не только в полной мере относятся к локомотивному комплексу, но и активно внедряются.

Список литературы

1. Лакин, И. К. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ/ И. К. Лакин – М.: ОЦВ, 2002. – 515с.
2. Встроенное качество. Опыт Toyota Motor
http://www.orgprom.ru/uslugi/corporate_programs/jidoka.html
3. Лакин, И. К. Эффективность сервисного обслуживания локомотивов. Техника железных дорог / И. К. Лакин, И. В. Пустовой – 2017. – № 2 (38). – С. 34 – 44.

В. Т. Черемисин, И. В. Пустовой

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СЕРВИСНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТОМ ЛОКОМОТИВОВ

В статье описаны направления работ в сервисной компании ООО «ЛокоТех» по созданию и внедрению системы управления производственными процессами сервисных локомотивных депо (СЛД). Описаны составляющие системы, а также применение математических методов (статистического управления, методов международных стандартов качества) и их инкапсуляция в систему, что позволяет реализовать современные подходы управления на базе существующих СЛД.

Для обеспечения бесперебойного перевозочного процесса на отечественном железнодорожном транспорте нужны надёжно работающие локомотивы, условия работы которых постоянно усложняются из-за увеличения весовых норм, увеличения межремонтных пробегов, старения парка и др. При этом надёжность локомотивов определяется не только качеством их технического обслуживания и ремонта, качеством запасных частей, соблюдением режимов их эксплуатации, но также существенно зависит от достоверности исходной информации об их фактическом техническом состоянии и тем, что с этим связано.

Идея управления производственными процессами на локомотиво-ремонтных предприятиях не является новой, т.к. практические успехи в этом направлении были достигнуты еще в 70-е годы XX века в локомотивном депо Рыбное в виде комплексной системы оценки качества ТОиР, позволяющей не только прогнозировать надёжность электровозов, но и вырабатывать объективные принципы определения потребности в различных ресурсах [1].

В депо Рыбное были решены проблемы, связанные с повышением качества технического обслуживания и ремонта локомотивов с проведением комплексной оценки их эксплуатационной надёжности. Также применены научные подходы для организации ремонтного производства, а именно: разработана система целенаправленной координации материальных и трудовых

ресурсов производства, при которой обеспечивалось наиболее эффективное использование основных и вспомогательных звеньев технологического процесса ТОиР локомотивов. Также в депо Рыбное был налажен статистический учёт отказов локомотивов, что с одной стороны позволило прогнозировать потребность ресурсов для их ремонта (количество ремонтного персонала, необходимые запасные части, свободные ремонтные позиции, оснащённость технологическим оборудованием и др.), а с другой позволяла выполнять факторный анализ и выявлять первопричины отказов, формировать корректирующие и предупреждающие мероприятия.

Таким образом основа системы управления техническим состоянием локомотивов уже заложена, получен практический эффект и это при том, что внедрение системы в локомотивном депо Рыбное в «докомпьютерные технологии», весь учёт производился вручную, что в свою очередь существенно ограничивало возможности функционирования и дальнейшего развития системы.

В настоящее время в сервисной компании «ЛокоТех» ведутся работы по созданию и внедрению системы управления производственными процессами сервисных локомотивных депо (СЛД), которая называется АСУ «Сетевой график» (АСУ СГ). Работа над проектом ведется с 2015 года, как развитие проекта «Автоматизированная система управления надёжностью локомотивов» (АСУНТ) [2,3].

АСУ «Сетевой график» является комплексной системой управления производственными процессами сервисных локомотивных депо (рис. 1) система включает в себя: Мониторинг эксплуатации и технического состояния локомотивов (блок 1), Формирование графиков постановки локомотивов на ремонт (блок 2) и Внутрипроизводственное планирование (ВПП - блок 3), собственно управления производственными процессами (блок 4), включая материально-производственное обеспечение ТОиР (М11Э) и элементы системы качества (СМК) [4].

Назначение Автоматизированной системы управления производственными процессами сервисных локомотивных депо ООО «ЛокоТех-Сервис» с использованием IT-технологий - реинжиниринг и автоматизация технологических процессов планирования и выполнения ТОиР в СЛД, управление ресурсами в процессе выполнения ТОиР, управление

качеством ТОиР по технологии «Встроенное качество», повышение надёжности локомотивов.

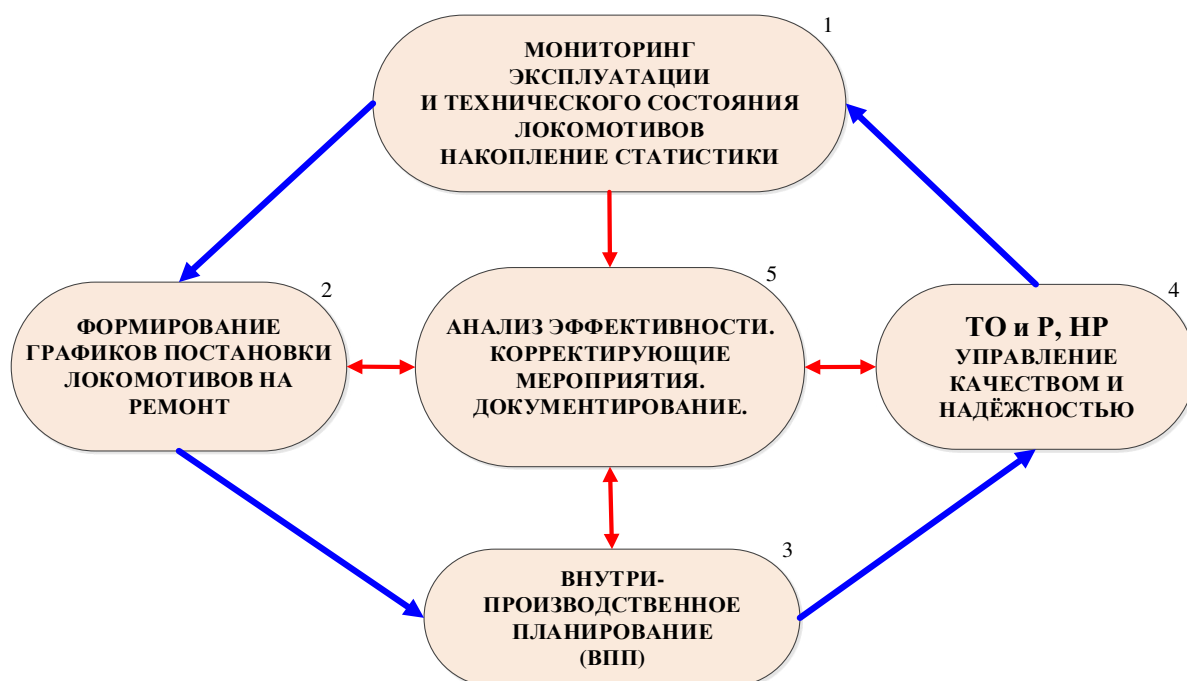


Рис. 1. Основные составляющие АСУ «Сетевой график»

Важной особенностью АСУ СГ является инкапсуляция в её состав необходимых математических методов статистического управления, методов международных стандартов качества, что позволяет реализовать современные подходы управления на базе существующих СЛД. Подход компании получил общее название «Встроенное качество». Такой подход является единственно возможным в условиях снижения уровня квалификации работников СЛД.

Отдельно следует остановиться на задаче внутрипроизводственного планирования, т.к. обеспечение производственного процесса необходимыми ресурсами – основа устойчивой работы производства. Важной специфической чертой ТОиР в условиях СЛД – низкая предсказуемость потребности в тех или иных потребных запасных частях товарно-материальных ценностях (ТМЦ). При проведении ТОиР в объёме ТО-2 (продолжительность 1,5 часа), ТО-3 (продолжительность 12 и 18 часов) и ТР-1 (36 часов) велика вероятность возникновения дополнительных работ – работ, выполняемых сверхцикла. На выполнение этих работ запасных частей (ТМЦ) на складе может не оказаться, что приведёт к перепростоя локомотива в депо. Поэтому очень важно научиться управлять неснижаемым запасом ТМЦ на складе. Авторами статьи

предлагается в основу методики положить статистику расхода тех или иных ТМЦ: зная средний расход деталей прогнозировать потребность и, соответственно, неснижаемый запас как корень квадратный из суммы перекрытий «отклонения ритма» и отклонения потребления [4].:

$$Q = Z * \left(\sqrt{(\sigma_R^2 * M^2) + \left(\frac{R * \sigma_M^2}{T}\right)} \right);$$

где: Q – требуемый объём неснижаемого запаса (шт., кг и др.);

M – математическое ожидание потребности в ТМЦ в сутки (шт., кг и др.):

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{max} x_i}{max};$$

где: x_i – расход детали за i -тый день; max – число наблюдений, дни;

σ_M – среднеквадратическое отклонение среднемесячной потребности в ТМЦ:

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{max} (x_i - MM)^2}{max}};$$

где: $MM = 30 \cdot M$ – математическое ожидание потребления деталей за месяц;

R – математическое ожидание ритма поставки ТМЦ (дней):

$$R = \frac{\sum_{j=1}^{mx} y_j}{mx};$$

где: y_j – время j -той поставки; m_x – число наблюдений поставок (число приходов); σ_R – среднеквадратическое отклонение ритма поставки ТМЦ:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{mx} (y_j - R)^2}{mx}};$$

где T – количество дней в расчётном периоде; Z – уровень обслуживания (зависит от заданной вероятности наличия деталей).

АСУ СГ внедрено уже в восьми пилотных сервисных локомотивных депо (СЛД): «Тюмень», «Югра» (г. Сургут), «Амурское» (г. Комсомольск-на-Амуре), «Тында-Северная», «Боготол-Сибирский», «Барабинск», «Хабаровск», «Москва-Сортировочная». Первым внедрялся модуль ТУ-28Э, позволяющей автоматизировать учёт всех работ (в т.ч. сверхцикловых), выполняемых в каждом цехе, с автоматизированной передачей данных в отдел труда и заработной платы (ОТиЗ) для расчёта заработной платы (в модуле ЗиУП 1С). Именно на этом модуле отработывалась новая идеология взаимодействия слесарей и мастеров цехов с информационной системой. Вторым по очереди внедрения АСУ СГ является модуль автоматизации учёта

выдачи материалов со склада в цех М11Э. Последующие СЛД проходят обучение на базе пилотных депо. Завершить внедрение АСУ СГ во всех 92 СЛД запланировано на 2018 год.

Таким образом, реализация проекта АСУ «Сетевой график» в сервисной компании позволит повысить управляемость процессов сервисного обслуживания локомотивов и помочь в решении важнейшей задачи, стоящей перед локомотиворемонтным комплексом: существенно повысить надёжность локомотивов, сократить затраты на ТОиР.

Список литературы

1. Стрельников, В. Т. Комплексное управление качеством технического обслуживания и ремонта электровозов [Текст] / В. Т. Стрельников, И. П. Исаев – М.: Транспорт, 1980. – 207 с.
2. Концепция автоматизированной системы управления надёжностью локомотивов (АСУНТ) / К. В. Липа, В. И. Гриненкои др. – М.: «ТМХ-Сервис», 2012. –159с.
3. Встроенное качество. Опыт Toyota Motor http://www.orgprom.ru/uslugi/corporate_programs/jidoka.html.
4. Пустовой, И. В. Инкапсуляция статистических методов управления в информационную систему сервисного обслуживания и ремонта локомотивов [Текст] / И. В. Пустовой// Известия Транссиба. – 2016. – № 3 (27). – С. 132 – 142.

УДК 629.488

А. В. Клюканов

БЕСКОНТАКТНОЕ РАЗРЫХЛЕНИЕ УГОЛЬНО-ЛЕДЯНОГО МОНОЛИТА ПРИ ЭКИПИРОВКЕ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

В работе рассмотрены проблемы, которые могут возникнуть в результате смерзания угля при экипировке пассажирских вагонов. Проведен анализ применяемых методов для разрыхления смерзшихся сыпучих грузов, на основании которого все способы рыхления были классифицированы на контактные и бесконтактные. Бесконтактное разрыхление угля на площадке может, осуществляется перед загрузкой в экипировочную машину и в

термобункере при подготовке вагонов в рейс. Предложена конструкция термобункера для разрыхления смерзшегося угля.

Одной из самых важных операций при подготовке составов в рейс, в отопительный сезон является обеспечение пассажирских вагонов углём [1].

Существующие технологии обеспечения вагонов углём характеризуются неэффективностью хранения – на открытых площадках или в неотапливаемых складах, что приводит к смерзанию угля. Смерзаемость – потеря сыпучести при низких температурах с образованием прочного монолита. Это свойство аналогично слеживаемости груза, и применяемые методы восстановления сыпучести идентичны, но имеются и свои различия. [2]. Смерзшийся штабель угля при хранении на открытой площадке приведен на рис. 1.

Доля отапливаемых складов на железной дороге для хранения угля невелика. Строительство новых отапливаемых складов с мощной инфраструктурой по хранению и переработке угля экономически целесообразно только на крупных пассажирских станциях.

Использование экологически чистого пелетного вида топлива в отопление вагонов является перспективным, но оно уступает углю по выделяемой теплоте сгорания и стоимости. Кроме того переход на пелетное топливо сопровождается заменой котлов пассажирских вагонов, что также весьма дорого. Поэтому альтернативы углю при отоплении вагонов нет, ситуация по складкой переработки в ближайшее время также не изменится и уголь под воздействием низких температур будет смерзаться.



Рис. 1. Смерзшийся штабель угля при хранении на открытой площадке

В настоящее время для придания смерзшейся массе угля требуемой сыпучести используется ручной труд экипировщиков или неспециализированная техника [3,4]. Разрыхление угля при помощи этих средств механизации относится к контактному способу воздействию на смерзшуюся массу угля.

Применение контактного способа для разрыхления смерзшегося угля средствами малой механизации приводит: к потерям угля связанным с физико-механическими особенностями; к увеличению трудоёмкости работ по подготовке угля; к ухудшению санитарно-гигиенических условий труда.

Другим способом придания смерзшейся массе угля сыпучести является бесконтактное разрыхление методом теплового воздействия. Нагрев смерзшегося угля может выполняться с подводом тепла ко всему штабелю так и к его части. На практике теплое воздействие используется для разогрева различных сыпучих материалов (песок, щебень и т.д.). Нагрев штабеля сыпучего материала ведется от нагревательных элементов с расположением их снизу площадки хранения. Эффективное действие такого способа ограничивается размерами штабеля и температурными условиями хранения груза.

Высота штабеля угля при хранении на открытой площадке может достигать более 2 метров, при этом весь штабель, не промерзает. Смерзается в штабеле его шапка и основание, а средняя часть, как правило, остается сыпучей. Прогреть весь штабель смерзшегося угля экономически не целесообразно.

Более эффективно бесконтактное тепловое разрыхление смерзшегося угля может быть использовано для подогрева части груза размещенного в емкости временного хранения.

Предлагается оснастить отдельные пути пунктов экипировки пассажирских вагонов термобункерами с питанием от стационарной высоковольтной колонки. Такое техническое решение позволит использовать термобункер в качестве временного накопителя угля с защитой от атмосферных осадков, а в случае его смерзания под действием нагрева стенок бункера обеспечить выгрузку угля. Конструкция термобункера с подключением его к электроколонки представлена на рис.2. Технические характеристики термобункера приведены в табл. 1.

Технические характеристики термобункера

Параметр	Характеристика
Способ разогрева смерзшегося угля	бесконтактный
Питание нагревательных элементов	от электроколонки
Количество нагревательных элементов	24
Шаг расстановки нагревательных элементов, мм	100
Вместимость термобункера, м ³	2
Наружный диаметр бункера, м ²	1

Устройство работает следующим образом. В бункер загружают уголь в объёме экономически целесообразном для данного пункта формирования.

При смерзании угля в термобункере подключают силовой кабель 3 к высоковольтной колонке 4 для обогрева пассажирских вагонов. Общий вид электроколонки существующей инфраструктуры показан на рис. 3.

Затем подают ток на нагревательные элементы 1, в результате чего происходит бесконтактное разрыхление смерзшегося угля. Для более интенсивного разрыхления смерзшегося угля нагревательные элементы расположены по всему периметру бункера 8 в количестве 24 шт. В зависимости от степени смерзаемости угля может работать вся группа нагревательных элементов или 12 шт.

Мощность подачи электрической энергии регулируется в зависимости от температуры наружного воздуха, регистрация которой осуществляется при помощи датчика температуры 5. В результате разрыхления смерзшийся уголь распадается на более мелкие фракции и через решётку (которая может быть оснащена вибратором) попадает в выпускную воронку и далее на дозатор 6, который обеспечивает порционный выпуск угля.

Термобункер может быть в двух исполнениях: стационарный с расположением в междупутьях и мобильный с размещением на транспортном средстве. Мобильный термобункер не создает помех транспортным средствам и другим экипажировщикам. Стационарный термобункер предпочтительнее использовать на крайних путях парка.

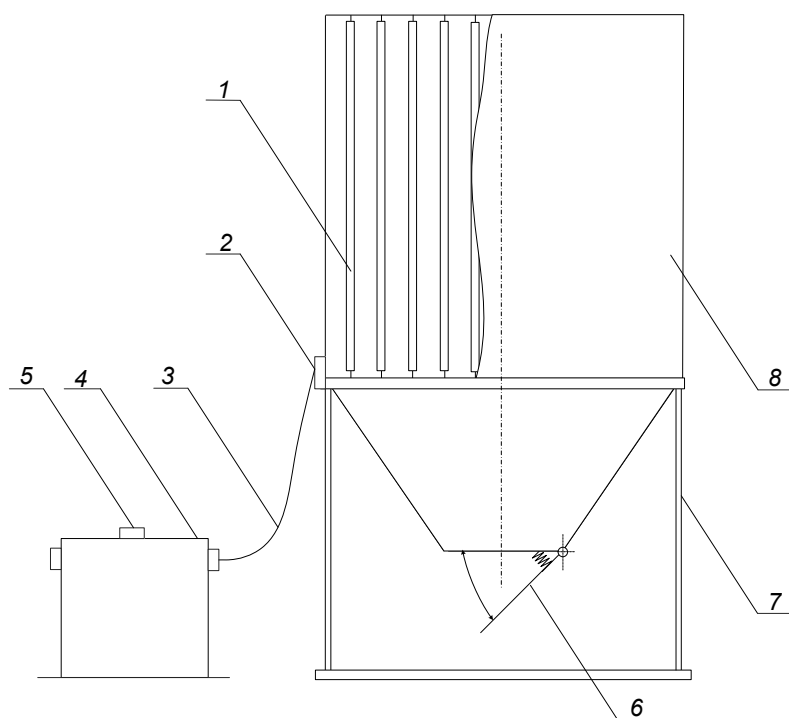


Рис. 2. Конструкция термобункера с подключением его к электроколонкам:
 1 – нагревательные элементы; 2– муфта кабельная; 3 – силовой кабель; 4 – электроколонка;
 5– датчик температур; 6 – дозатор; 7 – стойки; 8 – корпус бункера



Рис. 3. Общий вид электроколонки существующей инфраструктуры

К достоинствам термобункера следует отнести:

- 1) герметичность термобункера – защищает уголь от атмосферных осадков;
- 2) бесконтактное разрыхление смерзшегося угля – снижает трудоёмкость процесса разрыхления;
- 3) подвод электрической энергии к нагревательным элементам от существующего источника питания, что не требует дополнительных затрат на

сооружения питателей электроэнергией;

4) мобильность термобункера, что не создает помех для других транспортных средств и рабочих экипирующих состав.

В качестве «пилотного» технического решения, предполагается, что термобункер будет обеспечивать углем один пассажирский состав или группу вагонов, в условиях оперативной работы.

Список литературы

1. Технологическая инструкция подготовки и экипировки пассажирских вагонов в рейс ПТС Самара [Текст]: ввод в действие 12.04.2006 – 108 с.

2. Денисов, В. В. Восстановление сыпучести слежавшихся минеральных удобрений [Текст] /В. В. Денисов, А. В. Клюканов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2005. – С. 52.

3. Губарев, М. П. Экипировка пассажирских вагонов [Текст] / М. П. Губарев, В. В. Шулепов // Механика и машиностроение. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2009. – №3. – С. 801 – 804.

4. Перепон, В. П. Организация перевозок грузов [Текст] / В. П. Перепон. – М.: Маршрут, 2010. – 320 с.

УДК 629

С. Галбадрах

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ДИЗЕЛЕЙ 16ЧН26/26, УСТАНОВЛЕННЫХ НА ТЕПЛОВОЗАХ 2ТЭ116УМ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В МОНГОЛИИ

Данный доклад предназначен для демонстрации результатов исследования, анализа надежности и эксплуатационного состояния тепловозных дизелей 16ЧН26/26, установленных на тепловозах 2ТЭ116УМ, эксплуатируемых Монголо-Российским Акционерным Обществом “Улан-Баторская железная дорога”, начиная с 2011 года. Ремонт и обслуживание тепловозов в течении 2011-2015 гг. осуществлялись силами Российской компании Транс.Маши.Холдинг-Сервис (ТМХС). В исследовании использовалось 62 дизелей данного типа, работающих на тепловозах 2ТЭ-116УМ 001, 002.....031.

В работе различных машин и механизмов в ходе их функционирования наблюдаются неполадки и отказы, которые являются объективными и допустимыми процессом. Их можно отнести к основным свойствам любой сложной системы. Исходя из этого необходимо изучить факторы, оказывающие отрицательное влияние на работу машин. Исходя из этой точки зрения важным направлением для изучения путей обеспечения эффективности машин в эксплуатации считается теория надежности [1].

Цель данного исследования заключалась в изучении изменения эксплуатационных показателей дизелей 16ЧН26/26 тепловоза 2ТЭ116УМ на основе теории надежности и математической статистики процессов и в установлении других показателей (Надежность-Reliability, Готовность-Availability, Ремонтопригодность-Maintainability), которые могут использоваться в качестве критерия для оценки их надежности. Наряду с этим следует отметить что, реферируемое исследование является частью работы, направленной на совершенствование системы ремонта и обслуживания тепловоза 2ТЭ116УМ, а также на оптимизацию межремонтного пробега этой серии тепловоза. К исследованиям подвергались только детали и механизмы дизеля, а используемые вспомогательные оборудования и системы дизеля не учитывались.

1. Эксплуатационное состояние тепловоза 2ТЭ116УМ и изучение отказа дизелей 16ЧН26/26

Тепловоз серии 2ТЭ116УМ, построенный на Луганском тепловозостроительном заводе, оборудован микропроцессорной системой управления-регулировки-диагностики типа МСУ-ТП и системой безопасности движения типа КЛУБ-У и является грузовым тяговым средством с электропередачей переменного-постоянного тока на базе дизель-генераторной установки 18-9ДГ. Около 70% общего объема работы Улан-Баторской железной дороги (УБЖД) приходится на грузовое сообщение. Некоторые количественные и качественные показатели работы тепловоза приведены в таблице 1.

Количественные и качественные показатели эксплуатации тепловоза
2ТЭ116УМ

По годам	Выполненная работа	Продолжительность эксплуатации, в часах	Расход топлива	Среднесуточный пробег локомотива	Среднесуточная производительность локомотива	Средний вес поезда	Техническая скорость	Пробег	Эксплуатационный парк
	млн ткм	час.	кг	км	млн ткм	тн	км/час	млн км	тепл.
2010	183.7	2238	498238	569.7	2189.16	4147.83	48.34	49.4	0.26
2011	10709	130945	27881311	618.87	1985.36	3373.31	46.62	3392.5	14.94
2012	16730.7	203176	45859108	634.84	2037.4	3390.45	47.0	5434.5	23.06
2013	17907.9	207541	49870327	673.32	2181.34	3457.09	49.6	5694.0	23.36
2014	18147.5	201748	50735277	691.99	2294.82	3568.35	52.2	5712.2	22.75
2015	15512.5	177697	43552092	659.57	2172.45	3585.67	52.1	4936.9	20.29

Главная магистраль УБЖД проходит через 4 климатические зоны Монголии, где среднегодовое барометрическое давление около 690 мм рт. ст., температура наружного воздуха колеблется в пределах – 40: +35⁰С, а скорость ветра в пределах 0-12 м/сек (Весной в южных районах она порой достигает до 18-24 м/сек.), влажность воздуха 70%. С учетом таких необыкновенных условий эксплуатации мощность тепловоза ограничивается на 15% по сравнению с установленной заводом-изготовителем и регулируется на 2270 кВт.

Актуальные технические показатели:

Мощность, кВт – 2270.

Частота вращения коленчатого вала, об/мин – 1050.

Число цилиндров – 16.

Давление воздуха в входном тракте, МПа – 1,9.

Частота вращений ротора турбокомпрессора, об/мин – 22247.

Максимальное давление сгорания газов в цилиндрах (среднее), МПа – 121,3.

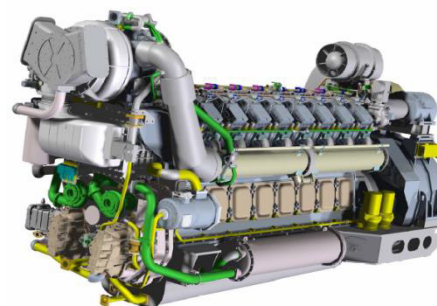


Рис. 1. 18-9ДГ дизель

Как известно, основная задача системы ремонта и технического обслуживания тепловозов направлена на обеспечение их исправного технического состояния, предупреждение появления неисправностей в пути следования, а также на создание благоприятных условий для соответствия экологических нормативам окружающей среды и санитарно-гигиенических требований работы локомотивных бригад. Такие же требования предъявляются и ремонтным циклам тепловоза 2ТЭ-116УМ. Ремонтная система состоит из периодических ремонтов (ТР) и технических обслуживаний (ТО), производимых между ремонтами. В настоящее время служба Локомотивного хозяйства УБЖД использует систему планово-предупредительного ремонта [2] тепловозов. На дороге действует Правило периодических ремонтов тепловоза 2ТЭ-116УМ, в соответствии с которым производятся все виды ремонта. Однако, внеплановые ремонты и отказы появляются не совсем редко т.е. очень часто.

В таблице 2 приведены данные по техническим отказам дизеля 16ЧН26/26 в пути следования, зарегистрированные в годы эксплуатации тепловоза 2ТЭ-116УМ.

Как показывают отчеты внеплановых ремонтов среди этих отказов немалое место занимают серьезные технические разрушения, на которые следует обратить особое внимание. К ним можно отнести таких отказов, как:

- 1) Заклинивание коленчатого вала – 1 случай.
- 2) Разрушение приводной шестерни – 19 случаев.
- 3) Разрыв шатунного болта или образование на нем трещин или надрыва – 3 случая.

2. Анализ надежности дизеля 16ЧН26/26.

Объект исследования: Дизель 16ЧН26/26, установленный на тепловозе 2ТЭ116УМ. Предлагаемый метод анализа: RAM.

Таблица 2

Количество внеплановых ремонтов дизелей 16ЧН26/26

По годам	Количество внеплановых ремонтов	Простой на внеплановых ремонтах, в часах
2010	5	102
2011	21	453,5
2012	25	792,5
2013	64	1389,5
2014	129	4126,5
2015	146	5886

Таблица 3

Список деталей дизеля 16ЧН26/26, прошедших внеплановые ремонты за последние годы

№	Колен.вал-шатунный механизм		Клапанный механизм		Другие	
1	Крышка цилиндров	10	Сухари	12	Система наддува	6
2	Поршень	10	Рольк	10	Резиновые изделия	36
3	Шатуны	3	Пружины	18	Редуктор	19
4	Вкладыши	4	Тарелки клапанов	24	Жаровая труба	15
5	Коленчатый вал	3	Выпускные клапаны	40	Газовый коллектор	14
6	Поршневые кольца	20	Впускные клапаны	17	Водяная рубашка	30
Всего		50		121		120

2.1. Вероятность безотказной работы (Reliability) $P(t)$: представляет собой вероятность безотказной работы объекта в течении заданного промежутка времени или до завершения конкретной работы, выполняемой данным объектом. Параметр потока $\omega(t)$ выражает плотность вероятности отказа объекта, который подвергается ремонту по достижению определенного пробега в эксплуатации и среднее число отказа.

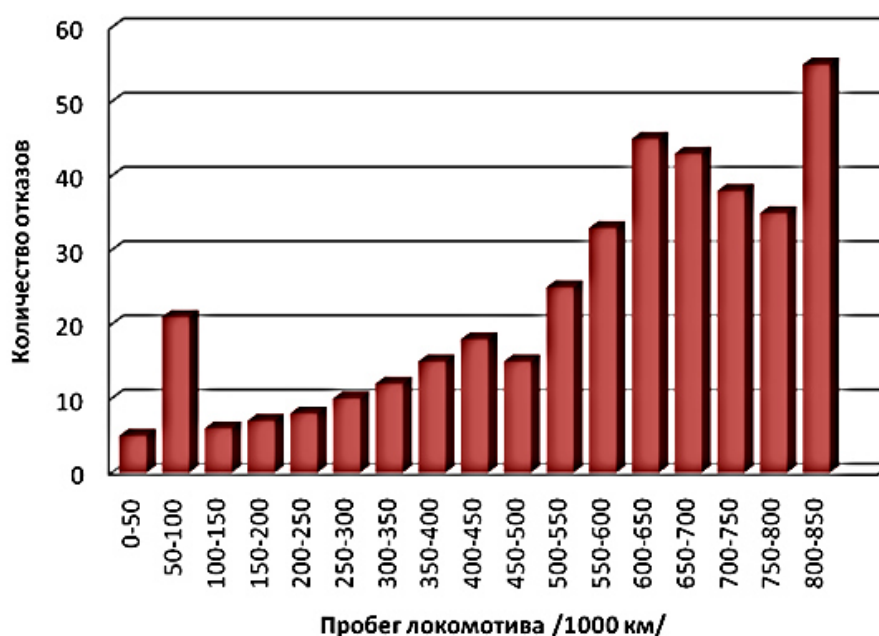


Рис. 2. Количество отказов дизеля

Путем сбора и обработки данных отчетов внеплановых ремонтов тепловоза серии 2ТЭ116УМ в период от 2010 до первых 4 месяцев 2016 нами были получены статистические данные, характеризующие количество отказов рассматриваемого дизеля, приходящихся на каждый 50 тыс.км пробега в поездах. При этом в качестве конечного срока исследования был принят пробег, равный 200 тыс.км после первого периодического ремонта ТР-3 тепловоза серии 2ТЭ116УМ.

Так как анализ отказов показал, что их количество зависит от пробега тепловоза в поездах, то однокритерный регрессивный анализ был проведен с использованием S Plus, Excel Data analysis программ. Целью исследования было определение характера зависимостей между переменными, оценка функции модели регресса и нахождение неизвестного значения зависимой переменной [4]. Результаты исследований, проведенных по линейной, экспоненциальной, логарифм-логарифм моделям, приведены в таблице 4 и на рис. 3.

Таблица 4

Результаты исследования

Линейная модель	Экспоненциальная модель	Log-log модель
Уравнение I	Уравнение II	Уравнение III
$S = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot G$ $S = 0.45 + 0.055 \cdot G$ $R^2 = 0.94;$ $F = 263(2 \div 0.00)$	$\ln S = \beta_0 + \beta_1 G$ $S = 4.42 \cdot e^{0.003 \cdot G}$ $R^2 = 0.95;$ $F = 315(2 \div 0.00)$	$\ln S = \gamma_0 + \gamma_1 \ln G$ $S = 0.15 \cdot G^{0.865}$ $R^2 = 0.9;$ $F = 146(2 \div 0.00)$

2.2. Показатель ремонтпригодности (Maintainability): вероятность того, что время восстановления работоспособности тепловоза не превышает заданное время. Она определяется такими показателями как вероятность восстановления в заданный срок и среднее время восстановления. В составе времени восстановления входят: время обнаружения отказа и выяснения причинного возникновения, время ожидания ремонта, время ремонта, время для проверки и испытания после ремонта, а также время на устранение отрицательного последствия отказа. Среднее время восстановления равно арифметическому среднему значению восстановления работоспособности

тепловоза. Среднее время восстановления дизеля n -го тепловоза (по данным 2015 года):

$$T_{сб} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n} = \frac{5886 \text{ цаг}}{146} = 40 \text{ час.}$$

где: τ_i - случайная величина времени устранения i -ого отказа, n -количество объектов, подвергнутых отказам или количество отказа объекта.

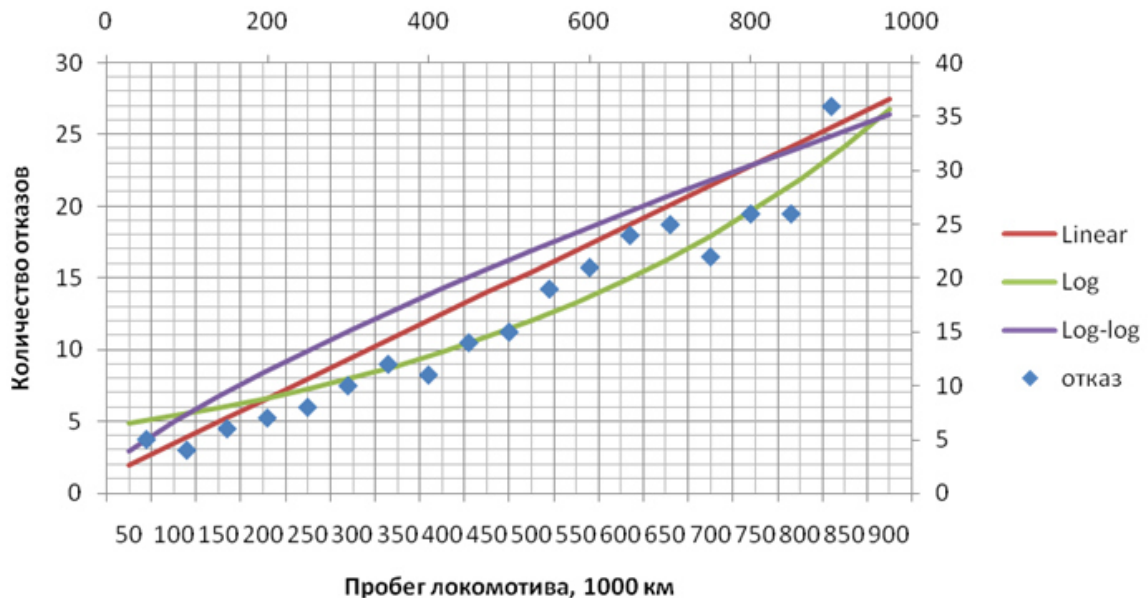


Рис. 3. Зависимости числа отказов дизеля 16ЧН26/26 от пробега тепловоза 2ТЭ-116Ум

Время простоя тепловоза серии 2ТЭ-116Ум и норма межремонтного срока для плановых видов ремонта отражены в документе под названием «Порядок ремонта и обслуживания тепловозов», утвержденный приказом начальника УБЖД № А229.

2.3. Коэффициент готовности (Availability): Регламентирует вероятность сохранения работоспособности в любой момент времени.

(при среднем пробеге тепловозов, равном к 800 тыс. Км, по состоянию 2015 года)

$$K_{66} = \frac{T_{\theta}}{T_{\theta} + T_{сб}} = \frac{265674 \text{ цаг}}{265674 \text{ цаг} + 5886 \text{ цаг}} = 0.978$$

где: T_{θ} – время работы между отказами, детерминирующее качество безотказности

$T_{сб}$ – среднее время на восстановление, детерминирующее ремонтпригодность

Коэффициент технического использования – Отношение арифметического среднего по времени, в течении которого объект был работоспособным, к сумме арифметических средних времени простоя на ремонт, простоя на аварийный отказ и времени в течении которого объект находился в работоспособном состоянии.

$$K_{TA} = \frac{T_o}{T_o + T_{сб} + T_{ТЗ}} = \frac{265674 \text{ цаг}}{265674 \text{ цаг} + 5886 \text{ цаг} + 26232 \text{ цаг}} = 0.89$$

где: T_o - Время, в течении которого объект был в работоспособном состоянии, т.е. продолжительность работы между отказами,

$T_{сб}$ – Простой в аварийном состоянии, т.е. среднее время восстановления.

$T_{сб} = 5886$ часов,

$T_{ТЗ}$ -время простоя на плановый ремонт,

$T_{ТЗ} = 26232$ часа.

Таблица 5

Ремонтные циклы и время простоя на ремонт для тепловоза серии 2ТЭ116МУ

Тепловозы	Технич. осм.	Технич.обслуживания				Периодические ремонты		
	ТО-2	ТО-3	ТО-5			ТР-1	ТР-2	ТР-3
			А	Б	В			
2ТЭ-116УМ	Время простоя на ремонт							
	2,3 ч.	24 ч.	24 ч.	10 суток	24 ч.	48 ч.	15 суток	21 суток
	Нормы межремонтного пробега(*1000 км)							
	После каждой поездки	15				75	300	600

Выводы

Рассмотрение пробега тепловоза в поездах и результаты регрессивного анализа отказов дизеля 16ЧН26/26 показали, что коэффициент детерминации R как для линейной, так и для экспоненциальной и логарифм-логарифм моделей имеет позитивную зависимость.

- Согласно первому уравнению: при увеличении пробега тепловоза на одну тысячи км количество отказа дизеля увеличится на 5.5 единиц.

- Согласно второму уравнению: функция распределения отказа имеет следующий вид. $S = 4.42 \cdot e^{0.003 \cdot G}$ (где G- пробег тепловоза)

- Согласно третьему уравнению: установлено, что на каждый отказ тепловоза приходится 0.86% пробега тепловоза.

Отчеты службы Локомотивного хозяйства УБЖД свидетельствуют о наличии 8 тепловозов с перепробегом против нормы планового ремонта, что служит одной из причин роста числа внепланового ремонта.

Увеличение количества порчи с тяжелым последствием при среднем пробеге тепловоза свыше 600 тыс.км является следствием нарушения нормы срока планового ремонта, что стало причиной повышения среднего времени восстановления.

Большое количество внепланового ремонта или повышенное число отказов, а также низкое значение коэффициента готовности (Availability) дизеля приводят к выводу, что низкий уровень надежности работы дизеля 16ЧН26/26 оказывает отрицательное влияние на обеспечение непрерывности движения поездов. Исходя из этого необходимо принимать меры по оптимальной регулировке мощности двигателя, оптимитизации межремонтного срока и повышению качества ремонта путем ужесточения требований к материалам систем, пересмотра технологии ремонта на основе результатов исследований, применения современных методов диагностики и более точных инструментов и приборов при ремонте и технических обслуживаниях, обнаружения дефектов до возникновения отказа.

Список литературы

1. Нанзад, Ц. Основа надежности горных машин / Ц. Нанзад. – УБ., 2009.
2. Тувшинбаяр, Д. Тяговые подвижные составы / Д. Тувшинбаяр. – УБ., 2014.
3. УБЖД, служба Локомотивного хозяйства, Отчеты по ремонту локомотивов.
4. Базарсад, Я. Теория вероятности и математическая статистика / Я. Базарсад, Р. Энхбат. – УБ., 2008.
5. Analysis of Reliability, Availability and Maintainability (RAM) of SM48 diesel locomotive, MaciejSzkoda, EURO-ZEL 2014, 22nd International Symposium.

К. И. Доманов

ПРОБЛЕМЫ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ СЕРИИ 2ЭС6 И МЕРОПРИЯТИЯ НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИХ РЕМОНТА

Анализ результатов эксплуатации магистральных электровозов постоянного тока серии 2ЭС6 на всей сети ОАО «РЖД», рассматриваются показатели готовности и ремонтпригодности при производстве работ по выполнению плановых и неплановых видов обслуживаний локомотивов, выявлены основные причины длительного простоя локомотивов на сервисном обслуживании, сформирован комплекс мероприятий направленных на минимизацию отказов электровозов в эксплуатации.

В приписном парке ОАО «РЖД» по состоянию на 31.12.2016 г. находится 642 электровоза серии 2ЭС6, из них 486 ед. (75,7%) вышли за пределы гарантийного срока. На балансах локомотивных эксплуатационных депо находится следующее количество электровозов 2ЭС6:

- 186 ед. в ТЧЭ Свердловск-Сортировочный (СВЕРД);
- 220 ед. в ТЧЭ Омск (З-СИБ);
- 136 ед. в ТЧЭ Тайга (З-СИБ);
- 74 ед. в ТЧЭ Челябинск (Ю-УР);
- 26 ед. в ТЧЭ Курган (Ю-УР).

С начала эксплуатации суммарный пробег всего парка составляет 364,7 млн. км. Электровоз 2ЭС6 № 044 имеет наибольший пробег 1,195 млн. км. Значение среднемесячного пробега за 12 месяцев 2016 г. составило 17,7 тыс. км, что на 4,1% больше показателя за аналогичный период 2015 г. (17,0 тыс. км).

Коэффициент внутренней готовности (Квг) по гарантийным случаям отказов за 12 месяцев 2016 г. – 0,989, что соответствует показателю, заданному в ТУ, и выше показателя за аналогичный период 2015 г. (0,986). По всему парку значение Квг за 12 месяцев 2016 г. составило 0,908, что ниже аналогичного периода за 2015 г. (0,911). Коэффициент технической готовности (Ктг)

за 12 месяцев 2016 г. – 0,866, что не соответствует показателю, заданному в ТУ, и на 1,3% меньше показателя за аналогичный период 2015 г. (0,877).

В неэксплуатируемом состоянии за 12 месяцев 2016 г. электровозы 2ЭС6 находились 953,4 тыс. часов, что составляет 18,1% от общего бюджета времени приписного парка. В это время входят следующие простои:

- на гарантийных неплановых ремонтах (рекламации) – 9,5 тыс. часов;
- на не гарантийных неплановых ремонтах – 409,4 тыс. часов;
- в пересылках в неисправном состоянии – 106,0 тыс. часов;
- на плановых ремонтах и обслуживании – 221,5 тыс. часов;
- прочее время (ожидание ремонтов, модернизация, испытания, стационарная установка) – 201,3 тыс. часов.

Среднее время простоя на одном гарантийном ремонте (рекламация) за 12 месяцев 2016 г. составило 15,9 ч. (рис. 1), что на 38,9% меньше показателя за аналогичный период 2015 г. (26,1 ч.).

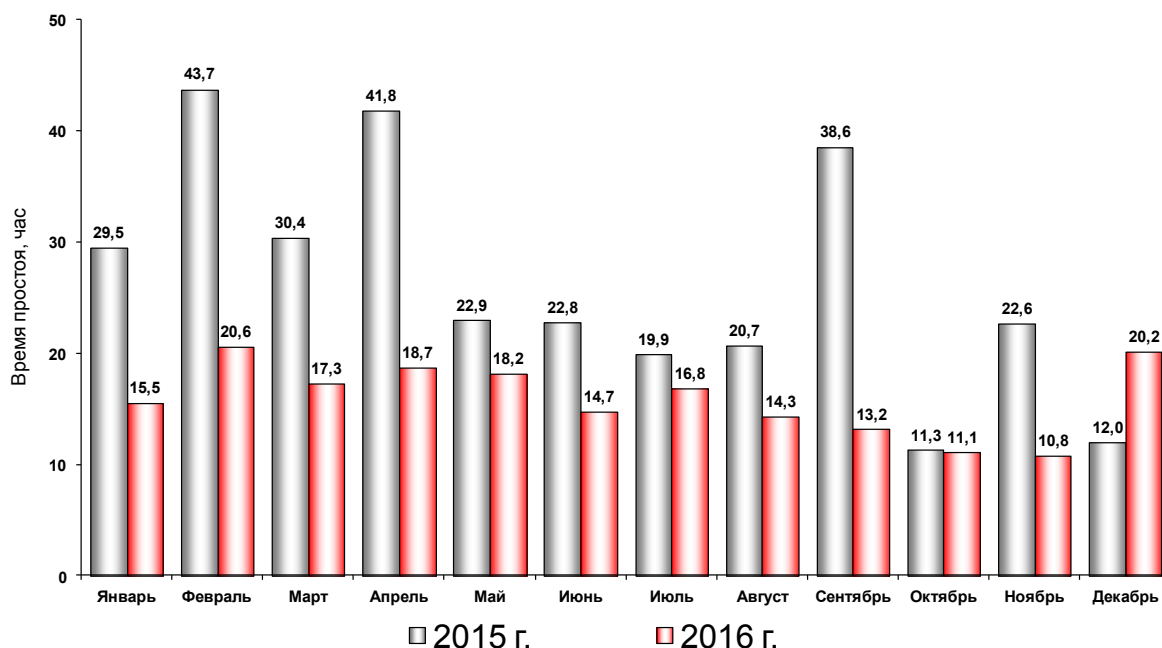


Рис. 1. Динамика изменения среднего времени простоя электровозов 2ЭС6 на одном гарантийном ремонте (рекламация) по месяцам за 2015-2016 г.г.

Среднее время простоя на одном не гарантийном ремонте (неплановый ремонт) за 12 месяцев 2016 г. составило 59,2 ч., что на 5,5% меньше показателя за аналогичный период 2015 г. (62,7 ч.).

Длительные простои на неплановых ремонтах обусловлены [1]:

- большой трудоемкостью ремонта крупного линейного оборудования, в том числе тяговых двигателей и вспомогательных машин;

- недостаточным уровнем качества проводимого ТО и ТР (не своевременное устранение замечаний по работе электровоза, не выполнение полного перечня работ на плановых видах ремонта, некачественный монтаж заменяемого оборудования и т.п.);

- большим количеством заходов на неплановый ремонт, когда несколько электровозов простаивают в ожидании освобождения ремонтных позиций, занятых другими неисправными электровозами;

- отсутствием запасных частей и оборудования на складах СЛД;

- низкой надежностью оборудования и узлов.

По итогам 12 месяцев 2016 г. на всем парке электровозов 2ЭС6 зафиксировано 7302 отказов оборудования (рис. 2), что составляет 67,1 случаев на 1 млн. км пробега (за аналогичный период 2015 г. – 4552 отказов или 51,1 случаев на 1 млн. км пробега). Таким образом, зафиксирован рост удельного количества отказов на 31,2%.

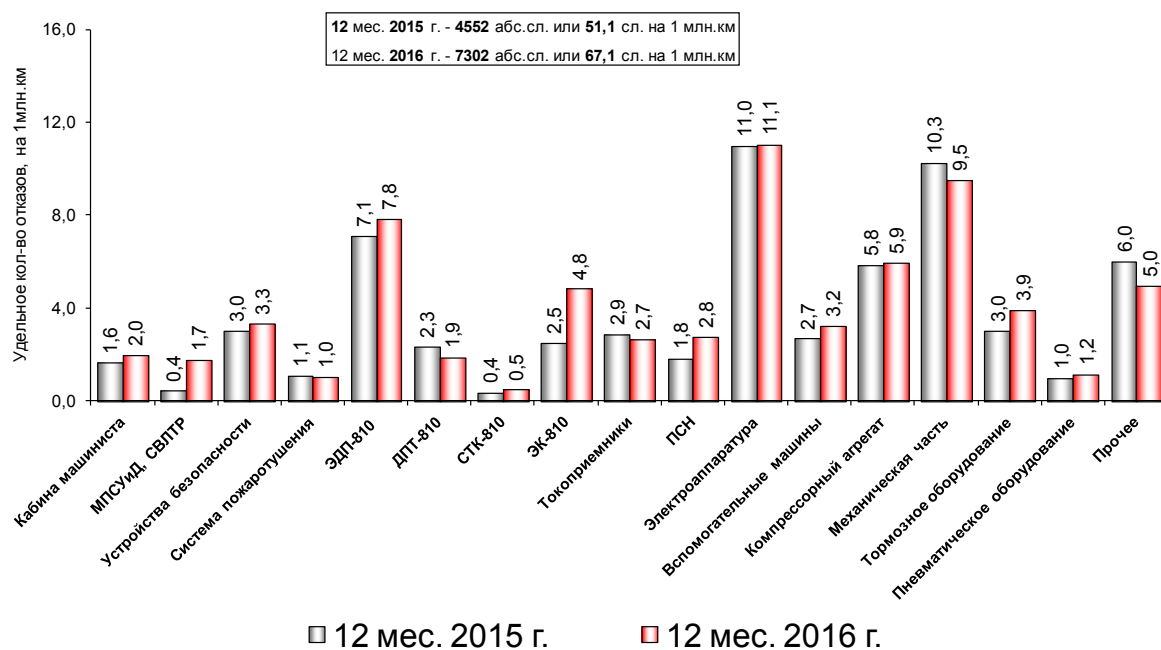


Рис. 2. Удельное количество отказов оборудования всего парка электровозов 2ЭС6 по месяцам 2015-2016 г.г.

Наибольшее количество отказов на всем парке электровозов 2ЭС6 приходится на механическую часть, тяговые электродвигатели и электроаппаратуру [1]. Рост отказов наблюдается по МПСУиД, устройствам

безопасности, тяговым электродвигателям ЭК-810Ч, ЭДП-810 и ДПТ-810, токоприемникам, преобразователю собственных нужд, вспомогательному оборудованию, тормозному оборудованию и пневматическому оборудованию. Причинами большого количества отказов тяговых электродвигателей на электровозах 2ЭС6 являются: схемное решение независимого возбуждения ТЭД, недостатки в конструкции ТЭД и некачественное сервисное обслуживание, которое усугубляется большим количеством применяемых типов ТЭД (ЭДП-810У1 производства «Электротяжмаш» г. Харьков, ДПТ-8102У1 производства ОАО «КЭМЗ» г. Карпинск, СТК-810У1 производства ОАО «НПП «СЭМЗ», г. Смела, ЭК-810Ч производства ЗАО «ПК «ЗТЭО» г. Набережные Челны) на электровозе [2]. По данным, полученным от завода-изготовителя локомотива, укомплектованность типом тягового двигателя соответствует табл. 1.

Таблица 1

Укомплектованность тяговыми электродвигателями парка электровозов 2ЭС6

Показатель	Значение по всему парку	Кол-во локомотивов на которых установлены однотипные ТЭД (ед.)	Кол-во локомотивов на которых установлены разнотипные ТЭД между секциями (ед.)	Кол-во локомотивов на которых установлены разнотипные ТЭД в одной секции (ед.)	Кол-во локомотивов на которых установлены разнотипные ТЭД в одной тележке (ед.)
Число локомотивов	642	398	33	176	35
Абсолютное число отказов	1285	777	97	664	109
Удельное количество отказов на 1 млн.км.	15,0	11,65	18,45	21,05	20,5

Одним из важных показателей в эксплуатации локомотива является состояние лимитирующих узлов электровоза. По результатам анализа данные узлы определены по закону Парето (рис. 3).

Большое количество типов тяговых электродвигателей с различными характеристиками (нажатие на щетку, разные типы щеток) затрудняет их техническое обслуживание. Кроме этого, выявляются случаи установки двух разных типов двигателей на одну тележку, что является нарушением требований эксплуатации локомотива п. 1.3.9 РЭ часть 1 «Описание и работа.

Технические характеристики и электрические схемы» 2ЭС6.00.000.000 РЭ: «Внимание! Запрещается установка разных по типу тяговых электродвигателей в одной тележке электровоза» [2]. Анализ работы локомотива, эксплуатируемого с различными типами ТЭД в одной тележке показал, что параметр потока отказов локомотива с установленными ТЭД различных типов на одну тележку имеет наибольшее значение, в сравнении с электровозами прочих компоновок разнотипных электродвигателей, и составляет 20,50 случаев на 1 млн. км. Локомотивы, эксплуатируемые с различными типами двигателей в одной секции также имеют сниженные показатели надежности, чем электровозы с однотипными ТЭД на всем локомотиве: 21,05 против 11,65 случаев/млн. км.

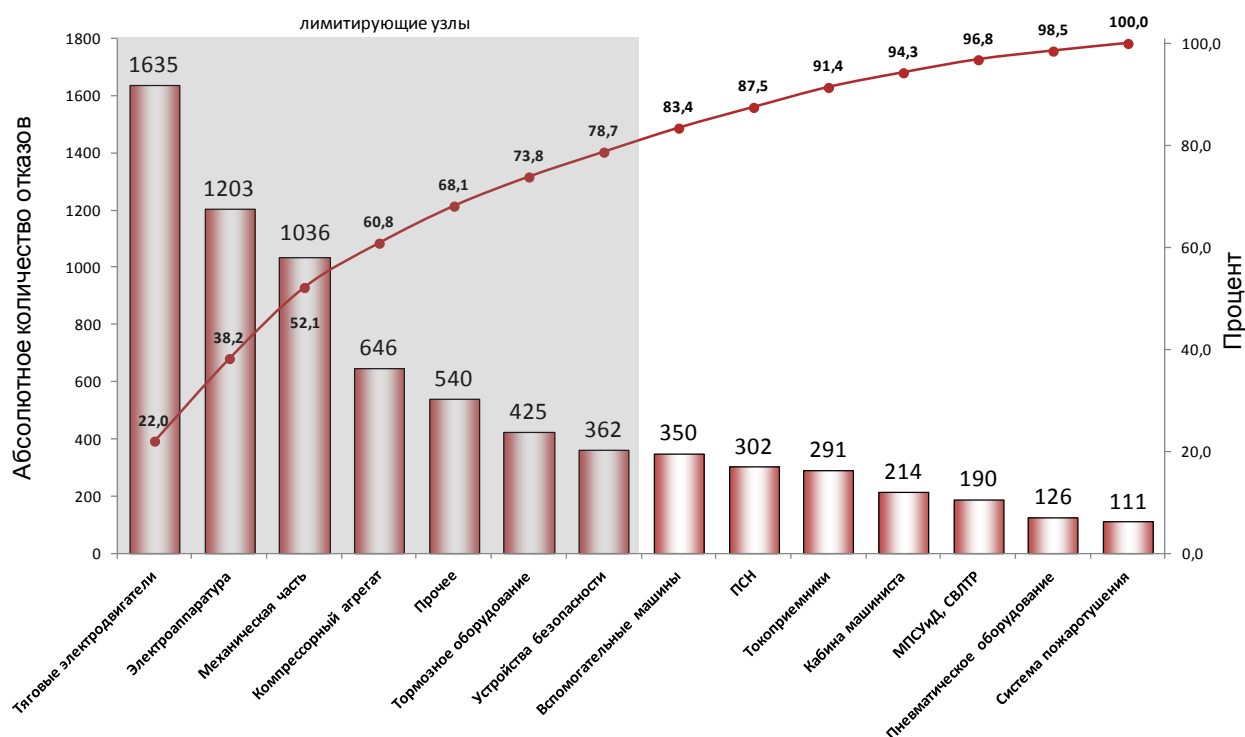


Рис. 3. Распределение всех отказов оборудования электровозов 2ЭС6 за 12 месяцев 2016 г. по закону Парето

На сегодняшний день остается актуальной проблема повреждения (пробоя) изоляции обмотки якоря и нажимного конуса коллектора тяговых электродвигателей. Для повышения надежности ТЭД к 1 января 2016 г. системой «Устройства защиты от аварийных режимов двигателей» (УЗАРД) производства АО «НПО автоматики» основанной на полупроводниковых элементах были оборудованы два электровоза 2ЭС6 приписки ТЧЭ Свердловск № 246 и № 247. За время подконтрольной эксплуатации 12 месяцев 2016 г.

отказов ТЭД по причине пробоя и термического повреждения изоляции якоря зафиксировано не было. Однако, было зафиксировано 4 случая отказа системы УЗАРД электровоза № 246, что составляет 25 случаев на 1 млн. км. пробега. На всех четырех типах тяговых электродвигателей электровоза 2ЭС6 наблюдаются однотипные неисправности на протяжении всего периода эксплуатации. Отказы ТЭД в основном характеризуются снижением сопротивления и пробоем изоляции двигателя, а также возникновением кругового огня на коллекторе. Несмотря на принимаемые меры по улучшению конструкции тяговых электродвигателей, причины способствующие выходу их из строя до настоящего времени не устранены. Заводом-изготовителем, до настоящего времени, отказы ни одного из четырех типов ТЭД не признаны системными.

Основной проблемой сервисного обслуживания является отсутствие необходимого переходного запаса оборудования электровозов 2ЭС6. По причине отсутствия необходимого количества запасных частей, допускаются случаи разоборудования электровозов практически во всех сервисных депо, где обслуживаются электровозы 2ЭС6.

Проблема вибрации экипажной части является следствием не качественной обточки колесных пар на станке КЖ-20 в СЛД Московка, на котором выявлена неисправность направляющего ролика. В неисправном состоянии станка обточено порядка 166 электровозов.

В настоящее время заводом-изготовителем и основными поставщиками комплектующих реализуется два плана мероприятий направленных на предотвращение неисправностей электровозов 2ЭС6:

1. Мероприятия на 2015-2016 г.г. утвержденные старшим вице-президентом ОАО «РЖД» В.А. Гапановичем от 11.06.2015 г.. Мероприятия содержат 62 пункта, из них выполнено 38 пунктов, не выполнено 9 пунктов и 15 пунктов в процессе выполнения;

2. Мероприятия № 103 от 19.04.2016 г. утвержденные вице-президентом ОАО «РЖД» О.С. Валинским. Мероприятия содержат 46 пунктов, из них выполнено 16 пунктов и 13 пунктов находятся в процессе выполнения. Данный перечень наиболее эффективных мероприятий направленных на решение проблем по тяговым электродвигателям, пневматическому и тормозному оборудованию, электроаппаратуре, общих организационных вопросов:

- проведение процедуры сертификации системы УЗАРД на соответствие требованиям Технического регламента ТР ТС 001/2011;

- установка новой версии программного обеспечения системы управления электровозом МПСУиД (версия 4.2.2) на всем парке электровозов;

- разработать алгоритм осушки изоляции ТЭД «под током» при питании электровоза от контактной сети;
- в руководство по эксплуатации включить указание по допустимым браковочным параметрам корпусов МОП и методов их устранения при проведении ремонта;
- согласовать программу дооснащения сервисных локомотивных депо на период 2017 – 2018 г.г. основным технологическим оборудованием;
- при проведении плановых видов ТО и ТР обеспечить сбор данных систем бортовой диагностики оборудования электровоза;
- обеспечить укомплектованность штата сервисных локомотивных депо в соответствии с технологией ТО и ТР и объемом выполняемых работ;
- обучить ремонтный персонал по устройству, конструкции и порядку обслуживания кабин управления, ПСН и системы управления МПСУиД.

Суммарное время простоя электровозов 2ЭС6 на неплановых ремонтах за 2016 г. эквивалентно изъятию из эксплуатации 58 локомотивов (8 % от парка). Среднемесячный пробег одного электровоза эксплуатируемого парка по итогам 12 месяцев 2016 г. увеличен на 4,1% по сравнению с аналогичным периодом 2015 г. и составляет 17,7 тыс. км.. Достигнутые показатели готовности и безотказности по гарантийным случаям отказов электровозов 2ЭС6 за анализируемый период соответствуют нормам, заданным в технических условиях, за исключением отказов третьего вида. Сервисное обслуживание не выполняет требование по поддержанию заданного уровня коэффициента технической готовности. Фактическое значение ниже нормы на 8,8%. Предложенный комплекс мероприятий направлен на повышение качества технологии ремонта электровозов.

Список литературы

1. Зайцева, Т. Н. Обслуживание и ремонт – по техническому состоянию / Т. Н. Зайцева / Локомотив. - М.: Издательство «Железнодорожное дело», 2011. – 84 с.
2. Андросов, Н. Н. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 руководство по эксплуатации / Н. Н. Андросов / ОАО «Уральский завод железнодорожного машиностроения. – М.: Издательство «Железнодорожное дело», 2008. – 673 с.

УДК 629.4.016

И. Г. Аликин, И. С. Синев, И. А. Чубаров, А. В. Чулков

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОБОБЩЕННЫХ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье предложена методика оценки относительных показателей для сравнительного анализа работы различных серий локомотивов на разных железных дорогах.

Процесс технической эксплуатации тепловозов характеризуется большим числом факторов и показателей различной значимости: массой поезда Q ; расходом топлива B_e ; участковой и технической скоростями $V_{уч}$, $V_{тех}$; среднесуточным пробегом S ; бюджетом времени работы локомотива $T_{л}$; нагрузкой на ось вагона q ; расчетным подъемом i_p и другими [1].

Для сравнительной оценки наибольший интерес представляют величины Q , B_e , $V_{уч}$, $V_{тех}$, учитывающие как технические характеристики тепловозов и вагонов, так и условия их эксплуатации.

Достигнутые показатели использования тепловозов подвергались статистической обработке на полигоне, включающем Свердловскую, Южно-Уральскую, Западно-Сибирскую, Восточно-Сибирскую, Забайкальскую железные дороги и северные участки железной дороги Казахстана АО «Национальная компания «Казахстан темир жолы» (АО «НК «КТЖ»), примыкающие к участкам Южно-Уральской и Западно-Сибирской железных дорог.

Результаты обработки большого объема информации о показателях работы тепловозов в грузовом движении в относительных единицах приведены в табл. 1. Статистическая оценка обобщенных показателей использования тепловозов 2ТЭ116, 2ТЭ10М,У, 2М62 в условиях реальной эксплуатации на исследуемых железных дорогах проведена относительно в 2007 г., принятого в качестве базового за 100 процентов.

По приведенным абсолютным значениям показателей оценить имеющиеся резервы их повышения, эффективность работы различных серий тепловозов на разных железных дорогах из-за неидентичности условий эксплуатации, неэквивалентности нормирующих величин довольно сложно и не всегда объективно.

Сравнительный анализ интенсивности и эффективности использования различных серий тепловозов на обширном полигоне железных дорог требует сопоставления как достигнутых показателей, так и нормативных, поскольку последние рассчитываются и устанавливаются с учетом реальных условий эксплуатации на конкретных участках железных дорог.

Таблица 1

Показатели работы тепловозов

Год	Значения показателей, %				
	S	Q	$V_{\text{тех}}$	$V_{\text{уч}}$	g_e
2007	100	100	100	100	100
2008	98,6	99,9	100,6	99,4	101,5
2009	96,4	99,3	100,2	99,5	101,9
2010	93,8	101,1	97,9	96,7	104,3
2011	88,2	99,9	96,6	94,6	104,9
2012	87,1	99,1	95,8	93,1	105,3
2013	86,4	98,3	97,2	93,7	109,9
2014	85,6	98,8	95,8	91,5	110,5
2015	85,4	99,7	95,7	88,3	108,4
2016	85,7	100,1	96,3	89,4	106,7

Для количественного и объективного анализа удобнее использовать обобщенные комплексные относительные показатели работы тепловозов, которые соотносят достигнутые величины с возможными или расчетными. В качестве относительных безразмерных показателей для сравнения эффективности тепловозов приняты: коэффициент массы поезда K_Q , коэффициент эффективного использования топлива K_{Be} и коэффициенты технической и участковой скоростей $K_V^{(\text{тех})}$ и $K_V^{(\text{уч})}$ [2].

Коэффициент массы поезда определяется как отношение средней массы поезда $\bar{Q}$, рассчитанной за определенный период эксплуатации для заданного участка обслуживания отдельно в четном и нечетном направлениях по отчетным документам депо, к расчетной массе Q_p , полученной по результатам

тяговых расчетов:

$$K_Q = \frac{\bar{Q}}{Q_p}. \quad (1)$$

Очевидно, параметр $\bar{Q}$ характеризует достигнутый уровень перевозочного процесса при эксплуатации локомотивов, а параметр Q_p устанавливается с учетом паспортной мощности локомотива, плана и профиля пути, установленных скоростей движения и т.д. Таким образом, можно утверждать, что коэффициент K_Q характеризует степень использования касательной мощности тепловоза с учетом условий эксплуатации и принятой на исследуемом полигоне организации перевозочного процесса.

Под коэффициентом эффективного использования топлива следует понимать отношение расхода топлива тепловозом в режиме нагрузки (режиме тяги) $B_e^{(н)}$ к суммарному расходу топлива за поездку:

$$K_{B_e} = \frac{B_e^{(н)}}{B_e^{(н)} + B_e^{(хх)}}. \quad (2)$$

где $B_e^{(н)}, B_e^{(хх)}$ – соответственно расход топлива тепловозом в достигнутый за определенный период режиме тяги и в режиме холостого хода.

Коэффициент участковой скорости представляет собой отношение участковой скорости $v_{уч}$ к технической скорости $v_{тех}$ за тот же период и характеризует интенсивность использования тепловозов во времени при выполнении поездной работы:

$$K_v^{(уч)} = \frac{v_{уч}}{v_{тех}}. \quad (3)$$

В свою очередь коэффициент технической скорости определяется как отношение выполненной технической скорости к графиковой скорости $v_{гр}$, установленной на участке, и характеризует, в основном, технические характеристики тепловозов и условия пропуска поездов на участке:

$$K_v^{(тех)} = \frac{v_{тех}}{v_{гр}}. \quad (4)$$

Таким образом, выбранные обобщенные показатели K_Q , K_{B_e} , $K_v^{(уч)}$, $K_v^{(тех)}$ достаточно полно характеризуют как степень использования технико-экономических характеристик тепловозов по мощности и по времени, так и эффективность системы организации их эксплуатации.

Динамика относительных показателей за 10 лет приведена на рис. 1, из анализа которой следует, что в последние годы относительные показатели имели тенденцию к снижению, а в 2016 г. наметилась положительная динамика.

Определены зависимости удельного расхода топлива g_e тепловозами от коэффициентов массы поезда K_Q (рис. 2) и участковой скорости $K_v^{(уч)}$ (рис. 3).

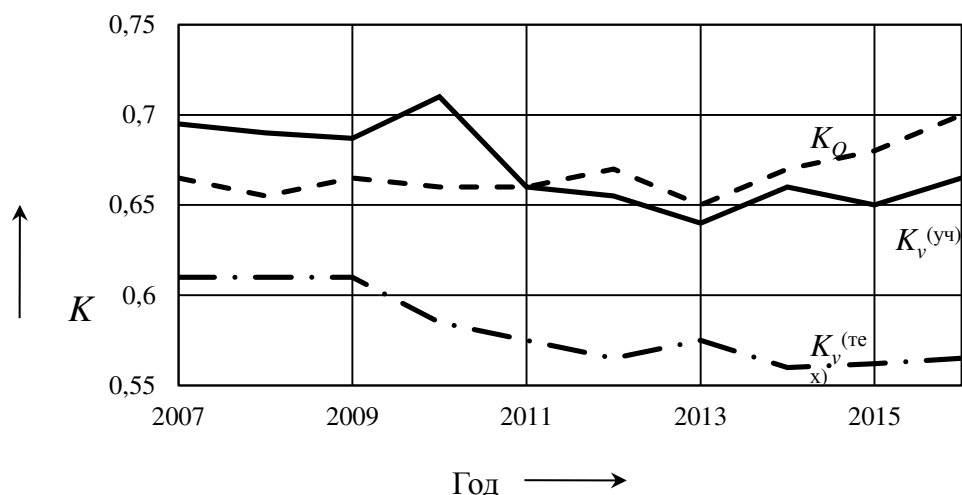


Рис. 1. Изменение относительных показателей использования тепловозов на исследуемом полигоне железных дорог

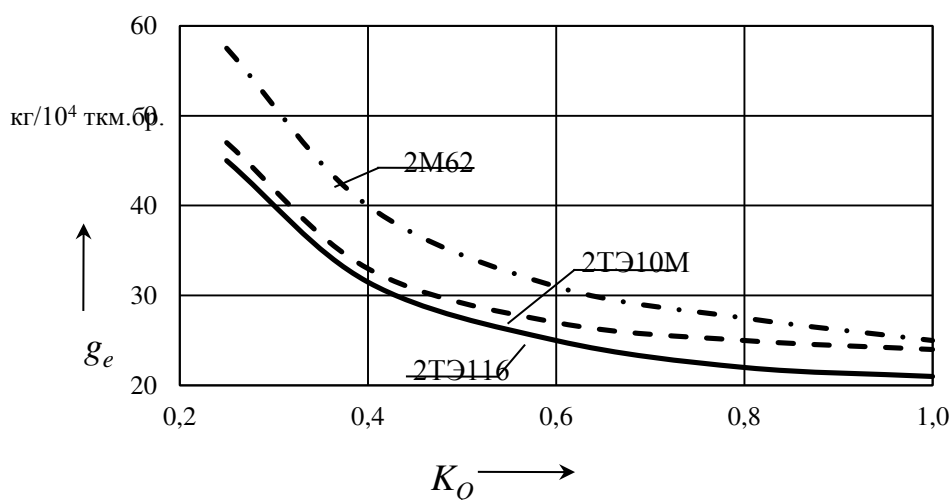


Рис. 2. Зависимость удельного расхода топлива от коэффициента массы поезда

Переход к относительным показателям позволяет проводить сравнительный анализ эффективности использования тепловозов различных серий на разных железных дорогах, сократить количество анализируемых показателей.

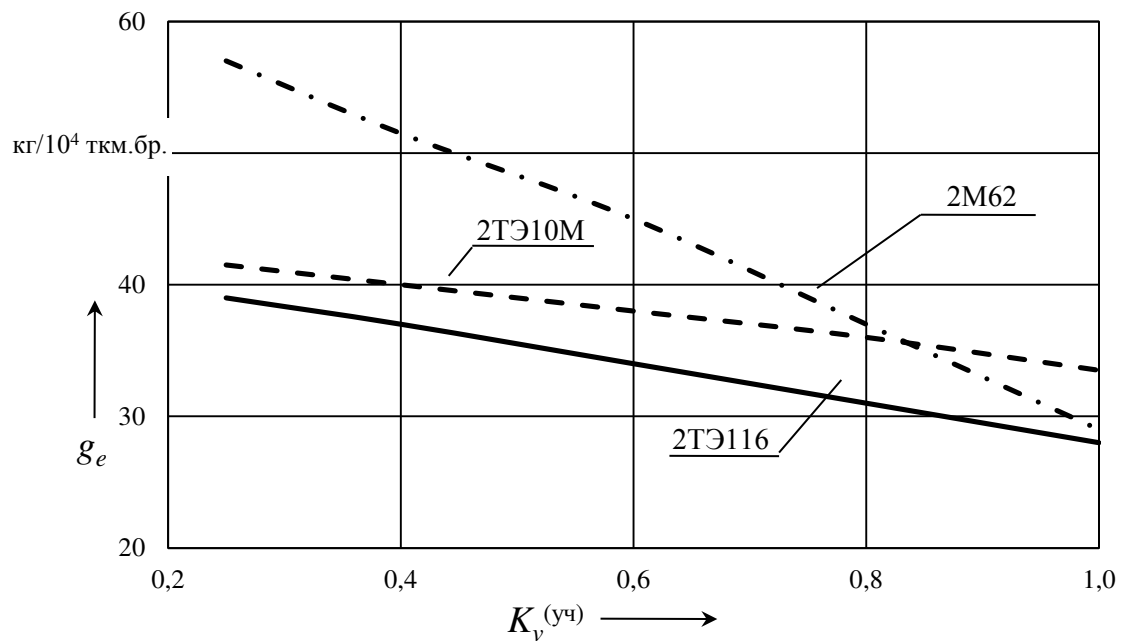


Рис. 3. Зависимость удельного расхода топлива от коэффициента участковой скорости

Значения коэффициента K_q не превышает 0,7, что свидетельствует о существующих резервах в повышении средней массы поезда.

Низкое значение $K_v^{(тех)}$ обусловлено недостаточной мощностью тепловозов для реализации установленной скорости на участках Красноярской, Западно-Сибирской железных дорог и Казахстан темир жолы. Снижение $K_v^{(уч)}$ на исследуемом полигоне железных дорог свидетельствует о недостатках в организации эксплуатации тепловозов в грузовом движении. Здесь следует отметить, что анализировать $K_v^{(уч)}$ необходимо в комплексе с $K_v^{(тех)}$, так как при низком $K_v^{(тех)}$ возможно высокое значение $K_v^{(уч)}$. Определены аналитические зависимости удельного расхода топлива g_e для тепловозов серий 2М62, 2ТЭ10М и 2ТЭ116 от коэффициентов массы поезда K_q и участковой скорости $K_v^{(уч)}$ получены уравнения регрессии (табл. 2), теснота корреляционных связей оценена коэффициентом r или индексом r_i корреляции.

Корреляционные зависимости расхода топлива от коэффициентов

Факторы	Серия тепловоза	Уравнение регрессии	Коэффициент и индекс корреляции
g_e, K_ρ	2М62	$g_e = 14,38 + \frac{9,82}{K_\rho}$	$r_i = 0,65$
	2ТЭ10М	$g_e = 13,10 + \frac{8,85}{K_\rho}$	$r_i = 0,52$
	2ТЭ116	$g_e = 14,5 + \frac{6,72}{K_\rho}$	$r_i = 0,53$
$g_e, K_v^{(yч)}$	2М62	$g_e = 43,8 - 19,3K_v^{(yч)}$	$r = 0,63$
	2ТЭ10М	$g_e = 32,78 - 6,49K_v^{(yч)}$	$r = 0,45$
	2ТЭ116	$g_e = 31,54 - 7,40K_v^{(yч)}$	$r = 0,48$

Анализ проведенных исследований и полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. С помощью предложенных относительных показателей интенсивности использования локомотивов можно производить сравнительный анализ эффективности эксплуатации различных серий тепловозов на широком полигоне железных дорог и сократить число анализируемых показателей.

2. Установлена корреляционная связь между обобщенными показателями и удельным расходом топлива. С увеличением K_ρ и $K_v^{(yч)}$ удельный расход топлива на объем выполненной перевозочной работы снижается. У тепловозов 2М62 имеющих меньшую мощность дизель-генераторной установки, эта зависимость изменяется более резко по сравнению с 2ТЭ10М и 2ТЭ116.

3. Повышение массы поезда, улучшение системы организации эксплуатации тепловозов и движения поездов являются важнейшим резервом решения задачи по снижению расхода топлива на перевозочную работу.

Список литературы

1. Моделирование процесса технической эксплуатации и формирования режимов нагрузки и прогрева дизель-генераторных установок тепловозов / В. В. Молчанов, В. О. Носков и др. // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск – 2017. – №1 (29). – С. 9 – 16.

2. Методы оценки технического состояния, эксплуатационной экономичности и экологической безопасности дизельных локомотивов / А. И. Володин, Е. И. Сковородников и др. // под ред. А.И. Володина. – М.: ООО «Желдориздат», 2007. – 264 с.

УДК 621.311.001.57

С. С. Саркенов

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА РАСХОД И ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ НА УЧАСТКАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ПРОФИЛЯ ПУТИ

В статье рассматривается подход к оценке влияния на расход электроэнергии на тягу поездов параметров графика движения. Поиск варианта с минимальным потреблением энергии основан на моделировании графика движения при различных межпоездных интервалах в условиях организации пакетного обращения поездов на участке железной дороги и применения рекуперативного торможения. По результатам моделирования предлагается представить полученную зависимость изменения расхода электроэнергии от параметров графика движения поездов в виде аналитической функции нескольких переменных для последующего применения при построении нормативных графиков движения с целью сокращения расхода электроэнергии на тягу поездов.

В настоящее время задача повышения энергетической эффективности перевозок на железнодорожном транспорте является одной из важнейших задач, имеющих общегосударственное значение. Государственная политика в данной сфере стимулирует мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности, вводя, например, льготное налогообложение для объектов высокой энергетической эффективности. В соответствии с ориентирами, задаваемыми государством реализуется комплекс мероприятий по повышению энергетической эффективности в холдинге РДЖ [1]. Решение задачи формирования оптимального энергосберегающего графика движения поездов для различных условий является одним из важнейших направлений повышения энергетической эффективности перевозочного процесса [2-6].

С целью оценки влияния параметров графика движения поездов на уровень электропотребления на тягу рассмотрим изменение расхода электроэнергии на различных типах профиля [7]. Имитационное моделирование выполнено для следующих участков Западно - Сибирской железной дороги: Барабинск – Московка (I тип профиля пути), Инская – Белово (II тип профиля пути) и Тайга – Мариинск (III тип профиля пути). Моделирование графиков движения поездов и расчет расхода электроэнергии на тягу поездов при этих графиках были проведены расчеты с помощью программного комплекса «КОРТЭС», используемого в холдинге «РЖД» для выполнения расчетов параметров системы тягового электроснабжения для различных условий [8, 9] в следующем порядке. На первом этапе были проведены тяговые расчеты для грузовых поездов для различных масс поездов, нагрузок на ось и технических скоростей. Нагрузка на ось изменялась от 5 т/ось до 20 т/ось с шагом 5 т/ось. Масса состава поезда изменялась от 1000 т до 6000 т с шагом 1000 т. Техническая скорость оставалась постоянной и равной 70 км/ч. В ходе моделирования сформирован ряд графиков движения поездов. Количество поездов в пакете N менялось от 3 до 8, а межпоездной интервал в пакете $t_{\text{инт}}$ изменялся от 10 до 18 мин. Далее были проведены электрические расчеты для определения расхода электроэнергии на тягу поездов для соответствующих графиков движения поездов.

Влияние рассмотренных выше факторов на расход электроэнергии оценим при помощи корреляционного анализа [10]. Нормированная корреляционная матрица представлена в таблице 1. По результатам расчета коэффициентов корреляции можно сделать вывод об отсутствии мультиколлинеарности рассматриваемых факторов.

Результаты расчетов показывают, что основное влияние на расход электроэнергии на тягу поездов оказывает вес состава m . Количество поездов в пакете N оказывает незначительное влияние, а интервал между поездами в пакете $t_{\text{инт}}$ имеет отрицательную корреляционную связь с расходом электроэнергии на тягу.

Таблица 1

Корреляционная зависимость параметров графика движения поездов на расход электроэнергии

	W	m _{ось}	m	N	t _{инт}
W		-0,07	0,79	0,32	-0,22
m _{ось}			0,38	0	0
m				0	0
N					0
t _{инт}					

Модель, описывающая изменение расхода электроэнергии на тягу от рассмотренных факторов, представлена в виде уравнения множественной линейной регрессии:

$$W_{\text{расчет}} = A + B \cdot m_{\text{ось}} + C \cdot m + D \cdot N + E \cdot t_{\text{инт}} \quad (1)$$

Для рассматриваемого участка I типа множественной линейной регрессии от четырех переменных коэффициенты уравнения регрессии (1) A, B, C, D, E равны:

$$A = 706787,9; B = -27142,7; C = 181,8; D = 58469,0; E = -27086,1.$$

На рис. 1 представлено сравнение полученных результатов с расчетными аналитическими для всех типов профиля.

Для полученной регрессионной модели коэффициент детерминации для I типа профиля $R^2 = 0,93$, $R^2 = 0,94$ для II типа профиля и $R^2 = 0,95$ для III типа профиля, что удовлетворяет условию $R^2 > 0,9$. Это говорит о том, что полученные аналитические данные очень близки к расчетным данным.

Аналогичным способ рассмотрим изменения расхода электроэнергии на тягу поездов на участке II и III типов профилей. Нормированная корреляционная матрица представлена в таблице 2. По результатам расчета коэффициентов корреляции можно сделать вывод об отсутствии мультиколлинеарности рассматриваемых факторов.

Исходя из полученных данных видно, что основное влияние на расход электроэнергии на тягу поездов оказывает вес состава m так же, как и на I типе профиля. Количество поездов в пакете N оказывает незначительное влияние, а интервал между поездами в пакете t_{инт} имеет отрицательную корреляционную связь с расходом электроэнергии на тягу.

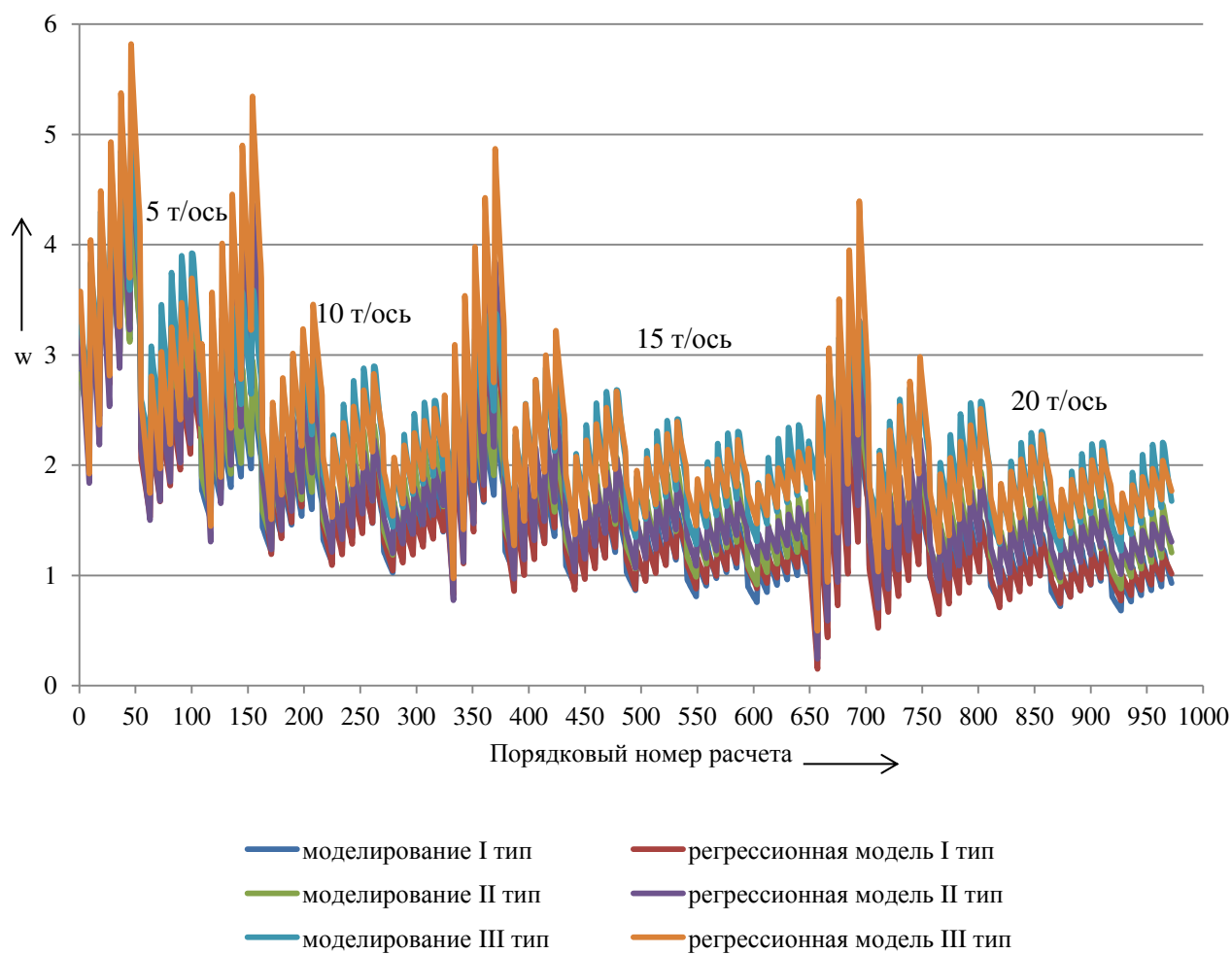


Рис. 1. График изменения удельного расхода электроэнергии: а) результаты расчетов имитационного моделирования; б) результаты расчетов по регрессионной модели

Воспользовавшись аппаратом множественной линейной регрессии можно получить аналитическое выражение для определения расхода электроэнергии на тягу.

$$W_{\text{расчет}} = A + B \cdot m_{\text{ось}} + C \cdot m + D \cdot N + E \cdot t_{\text{инт}} \quad (2)$$

Для рассматриваемого случая множественной линейной регрессии от четырех переменных коэффициенты уравнения регрессии (2) A , B , C , D , E равны:

$$A = 967602,3; B = -33271,0; C = 364,6; D = 108884,2; E = -50662,0.$$

На рис. 1 представлено сравнение полученных результатов с расчетными аналитическими.

Исходя из полученных данных видно, что основное влияние на расход электроэнергии на тягу поездов оказывает вес состава m так же, как и на I типе профиля и на II типе профиля. Количество поездов в пакете N оказывает

незначительное влияние, а интервал между поездами в пакете $t_{\text{инт}}$ имеет отрицательную корреляционную связь с расходом электроэнергии на тягу.

Таблица 2

Корреляционная зависимость параметров графика движения поездов на расход электроэнергии

	W	$m_{\text{ось}}$	m	N	$t_{\text{инт}}$
W		0,099	0,87	0,30	-0,21
$m_{\text{ось}}$			0,38	1,00	0,00
m				0	0
N					0
$t_{\text{инт}}$					

Таблица 3

Корреляционная зависимость параметров графика движения поездов на расход электроэнергии

	W	$m_{\text{ось}}$	m	N	$t_{\text{инт}}$
W		0,189	0,903	0,284	-0,197
$m_{\text{ось}}$			0,38	1,00	0,00
m				0	0
N					0
$t_{\text{инт}}$					

Воспользовавшись аппаратом множественной линейной регрессии можно получить аналитическое выражение для определения расхода электроэнергии на тягу.

$$W_{\text{расчет}} = A + B \cdot m_{\text{ось}} + C \cdot m + D \cdot N + E \cdot t_{\text{инт}} \quad (3)$$

Для рассматриваемого случая множественной линейной регрессии от четырех переменных коэффициенты уравнения регрессии (3) A, B, C, D, E равны:

$$A = 576780,0; B = -17199,7; C = 284,3; D = 80436,5; E = -36910,0.$$

На рис. 1 представлено сравнение полученных результатов с расчетными аналитическими. На всех типах профиля наблюдается влияние на суммарный расход электроэнергии уровня рекуперации и потерь в системе тягового электроснабжения. Указанные факторы обуславливают влияние количества

поездов в пакете и межпоездного интервала на суммарный расход электроэнергии на тягу на участке.

Полученные регрессионные модели для участков с различным типом профиля пути позволяют с достаточной степенью точности описывать результаты имитационного моделирования и могут использоваться на практике при анализе влияния параметров графика движения поездов на расход электроэнергии на тягу, в частности при формировании прогнозного энергосберегающего графика движения поездов.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года [Текст]: Распоряжение ОАО «РЖД» от 15 декабря 2011 г. № 2718р. – М., 2011. – 97 с.

2. Черемисин, В. Т. Организация контроля предельных режимов работы тяговой сети в условиях скоростного и тяжеловесного движения [Текст] / В. Т. Черемисин, А. Л. Каштанов, В. Л. Незевак // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2017. – № 1 (29). – С. 83-90.

3. Istomin S., Nezevak V. Analysis of electric locomotive 2ES10 operation on the dc track section of the Sverdlovsk railway / EB: Elektrische Bahnen. – 2015. – Т. 113. – № 4. – С. 186 – 189.

4. Незевак, В. Л. Оптимизация графика движения поездов по критерию расхода электрической энергии на тягу на участках железных дорог в условиях применения рекуперативного торможения [Текст] / В. Л. Незевак, А. П. Шатохин, О. В. Гателюк // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2015. – № 1 (21). – С. 59 – 69.

5. Незевак, В. Л. Об оценке влияния параметров графика движения на энергоэффективность перевозок в условиях применения рекуперативного торможения [Текст] / В. Л. Незевак, А. П. Шатохин // В сборнике: Политранспортные системы: материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия - ЕС. – 2015. – С. 478 – 482.

6. Черемисин, В. Т. Оценка влияния пакетной организации движения на объем электроэнергии на тягу на участках постоянного тока с i типом профиля

[Текст] / В. Т. Черемисин, В. Л. Незевак, С. С. Саркенов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 3 (55). – С. 135 –144.

7. Незевак, В. Л. Характеристики профилей пути на электрифицированных участках железных дорог в аспекте классификации типов [Текст] / В. Л. Незевак, А. Е. Перестенко, В. Т. Черемисин // Вестник Ростовского гос. ун-т путей сообщения. – 2017. – № 2. – С. 118-128.

8. Незевак, В. Л. Оценка влияния графика движения поездов на расход электроэнергии на тягу [Текст] / Незевак В. Л. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 3 томах. Дальневосточный гос. ун-т путей сообщения. Под редакцией В. А. Подоба. – 2015. – С. 202 – 208.

9. Истомин, С. Г. Об оценке влияния режимов системы тягового электроснабжения на удельный расход [Текст] / С. Г. Истомин, В. Л. Незевак // В сборнике: Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте Материалы научно-практической конференции. Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. С. 14-24.

10. Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления: Учебник [Текст] / Г. М. Фихтенгольц. – СПб: Лань, 2009. – 656 с.

11. Амосов, А. А. Вычислительные методы [Текст] / А. А. Амосов. – СПб: Лань, 2014. – 672 с.

УДК 629.46

В. В. Зубенко, М. О. Скворцов

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ВАГОННОГО ДЕПО И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Эксплуатационное вагонное депо является важным звеном в обеспечении безопасности движения поездов и сохранности грузов, поэтому необходимо уделять должное внимание качественной работе при подготовке вагонов к перевозкам.

Основными задачами эксплуатационного вагонного депо являются обеспечение качественной подготовки вагонов под погрузку и безопасного проследования поездов по гарантийным участкам, сохранности перевозимых

грузов, а также выполнение установленных производственно - финансовых показателей.

Для выполнения этих задач вагонное депо планирует широкий комплекс направлений их реализации:

1. Содержание в технически исправном состоянии парка грузовых вагонов;
2. Создание условий для обеспечения установленного объема перевозок на обслуживаемом участке при их полной безопасности и минимальных расходах на выполнение требуемого объема работ;
3. Выполнение принятых планов ремонта грузовых вагонов в соответствии с технологическим процессом и правилами ремонта;
4. Проведение эффективной экономической и финансовой политики;
5. Развитие подсобно – вспомогательной деятельности;
6. Повышение рентабельности предприятия в целях улучшения социального положения работников депо;
7. Внедрение новейших достижений науки и техники;
8. Рациональное использование производственных мощностей;
9. Соблюдение требований охраны окружающей природной среды.

Основными проблемами вагонного депо, которые не позволяют эффективно решать поставленные задачи являются:

- отсутствие систематического обновления парка вагонов (в целом по вагонному хозяйству);
- неэффективная кадровая политика;
- несвоевременное обеспечение предприятия необходимыми материалами и запасными частями;
- отсутствие инвестиций на замену и ремонт основных средств;

Для того чтобы эффективно осуществлять свою деятельность, предприятию необходимо внедрять новые технологии, повышать квалификацию кадров, улучшить инвестиционную политику.

Рассмотрим некоторые мероприятия, не требующие больших затрат, для решения проблем эксплуатационного депо:

- 1) организовать тестирование знаний работников;
- 2) контролировать наличие необходимого количества запасных частей;

- 3) ужесточить соблюдение работниками технологического процесса при осмотре и ремонте вагонов;
- 4) контролировать заполнение дефектных ведомостей с фактическим выполнением работ;
- 5) после текущего отцепочного ремонта производить испытание вагонов на типовой установке;
- 6) после производства текущего отцепочного ремонта в обязательном порядке проверять крепление тормозного оборудования;
- 7) обеспечить 100% приемку вагонов из текущего отцепочного ремонта приемщиками вагонов. В случае отсутствия приемщиков, приемку производить одним из руководителей депо;
- 8) проверить, как соблюдается технология и каков уровень качества технического обслуживания вагонов в готовых поездах;
- 9) осуществлять контроль наличия достаточного количества осматрщиков вагонов в смену.

Проведем анализ недостатков в работе эксплуатационного вагонного депо и рассмотрим пути их решения:

1) Обновление вагонного парка эксплуатационного вагонного депо. По данным ОАО «РЖД», на сегодняшний день парк грузовых вагонов принадлежности РФ составил 1074,1 тыс. вагонов. Из них срок службы истек у почти 51 тыс. вагонов, которые подошли к назначенному сроку эксплуатации и будут выведены из парка. Средний возраст работающего на сети парка составляет 13 лет. Как отметил начальник управления вагонного хозяйства Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» Михаил Сапетов, за последние 10 лет наблюдается весьма приличная динамика по снижению среднего возраста грузовых вагонов. Сегодня парк грузовых вагонов в РФ, благодаря активной позиции операторов подвижного состава, является самым молодым в Европе, а если тенденция продолжится, то, возможно, к концу года станет и самым молодым в мире. «Понятно, что основная часть этого омоложения достигнута за счет запретительных мер, связанных с исключением из парка грузовых вагонов, которые достигли назначенного вагоностроительными заводами срока службы. При этом он активно пополняется вагонами нового поколения. В эксплуатации уже находится 62,2 тыс. инновационных вагонов, что составляет 5,8% общей численности

парка» [1]. Но с внедрением инновационных вагонов появляется новая проблема, для работников ТОР, по техническому обслуживанию данных вагонов. В связи с внедрением новых технологий, работникам ТОР должно быть проведено обучение с соответствующей аттестацией.

2) Неэффективная кадровая политика заключается в том, что многие молодые специалисты не получают должного опыта работы на железной дороге. Получают сразу инженерные должности и плохо представляют, как происходит техническое обслуживание вагонов.

Такие люди имеют большой запас теоретического багажа, но им не хватает практических знаний, для решения неоднозначных проблем ПТО, ТОР и т.д. Исходя из этого нужно организовывать качественную практику для студентов, чтобы они получали какое-то количество знаний и укрепляли теоретически, либо после окончания ВУЗов предоставлять им должности, где есть возможность получения такого опыта.

3) Несвоевременное обеспечение предприятия необходимыми материалами и запасными частями, это острая проблема всего вагонного хозяйства. Есть предложение о создании специальной должности, в обязанности которой должен входить контроль запасных частей на всех участках эксплуатационного вагонного депо, а также при отсутствии каких-либо деталей своевременно их заказать и контролировать их доставку на место требования. Либо данные обязанности должен взять на себя заместить начальника депо по ремонту.

4) Недостаточные теоретические знания связаны с тем, что многие работники плохо подготовлены и высшее руководство не стремится тратить деньги на их переобучение, и сам человек не пытается улучшить свои знания в данной области.

От качества работы эксплуатационного вагонного депо во многом зависит безопасность движения поездов. Существует проблема обеспечения безопасности движения из-за постоянно увеличивающейся длины гарантийных участков ПТО. Довольно опасными являются последствия не выявленных отказов при осмотре вагонов.

Вагонному депо необходимо обеспечивать безотказную работу вагонов на гарантийных участках. Достичь этой цели можно благодаря следующим мерам:

1) необходимо повышать показатели надежности вагонов, путем смены старого подвижного состава на более новый;

2) должен обеспечиваться высокий уровень гарантии качества при всех видах ремонта и техническом обслуживании;

3) качество во многом зависит от технологий – применение современных технологий ремонта и технического обслуживания позволит повысить процент обнаружения браков и дефектов, а, следовательно, их своевременное устранение;

4) при ремонте важно использовать только качественные материалы и запасные части;

5) уровень знаний работников, занятых ремонтом и техническим обслуживанием, должен соответствовать уровню ответственности выполняемых работ.

Основными задачами реализации инновационной политики в вагонном хозяйстве являются:

1. Создание подвижного состава нового поколения;

2. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов по фактически выполненному объему работ (пробег в км);

3. Внедрение ресурсосберегающих технологий.

Для решения этих и других задач в вагонном хозяйстве:

1. Создаются универсальные и специализированные вагоны безремонтной конструкции с увеличенной производительностью, оснащенные тележками с увеличенными осевыми нагрузками для грузовых поездов и с пробегом между ремонтами не менее 450 тыс. км, системами автоматических тормозов с равномерным распределением тормозных сил по тележкам и вагонам в целом, ударно-тяговыми устройствами с полужесткой автосцепкой с износостойким контуром зацепления.

2. Разработана многофункциональная ремонтная установка нового поколения для пунктов технического обслуживания и подготовки вагонов к перевозкам.

3. Формируется новая информационная база о техническом состоянии вагонного парка и технология ее внедрения с ремонтно-эксплуатационным паспортом грузового вагона.

4. Осуществляется развитие системы технического обслуживания и ремонта вагонов по фактически выполненному объему работ.

5. Совершенствуется система информационного обслуживания с целью повышения уровня управляемости вагонным хозяйством.

6. Планируется разработка автоматизированной системы учета отказов технических средств и контроля качества ремонта и технического обслуживания грузовых вагонов.

7. Реализуется программа совершенствования системы неразрушающего контроля грузовых и пассажирских вагонов железнодорожного транспорта [2,3].

Весь комплекс планируемых направлений совершенствования работы эксплуатационных вагонных депо позволит обеспечить безопасность движения поездов и сократить количество отказов вагонов в эксплуатации.

Список литературы

1. Доклад начальника управления вагонного хозяйства Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» Михаила Сапетова. О перспективах развития вагонного хозяйства, 2017 г.

2. Экономика железнодорожного транспорта: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Н. П. Терёшина, В. Г. Галабурда и др.; Под ред. Н. П. Терёшиной, Б. М. Лapidуса, М. Ф. Трихункова. - М.: УМЦ ЖДТ, 2006.

3. [Электронный ресурс]. Точка доступа: <https://scicenter.online/ekonomika-otrasli-scicenter/innovatsii-jeleznodorojnom-transporte-45871.html>.

УДК 629.4.027.4

А. А. Рауба, В. В. Дюндин

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ БАНДАЖНЫХ КОЛЕС ЛОКОМОТИВОВ

В статье приведены сведения, подтверждающие необходимость разработки новых технических решений, направленных на обеспечение надежности бандажных колес в эксплуатации. Сгруппированные конструкторско-технологические и эксплуатационные

факторы, влияющие на ослабления посадки бандажа на колесном центре, позволяют сфокусировать внимание исследователей и задать необходимое направление для проведения новых исследований, с целью повышения надежности рассматриваемого соединения.

По данным Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) от 2 до 6 % всех эксплуатируемых бандажей на российских железных дорогах выходят из строя по причине ослабления их посадки на ободе колесного центра. На предприятиях промышленного железнодорожного транспорта количество проворотов бандажей составляет от 8 до 12% [1]. Приведенные усредненные доли отказов бандажей по причине ослабления их посадки на колесном центре за последние десятилетия остаются без существенных изменений. В частности, за 2016 год в локомотивном депо Свердловск, при статистическом анализе основных неисправностей бандажей электровозов 2ЭС6, 2ЭС10 проворот бандажей составлял 6,27 %.

Провороты бандажей колесных пар, возникающие вследствие ослабления натяга бандажа на колесном центре, остаются одной из чрезвычайно важных проблем составных колес тягового подвижного состава (ТПС), которые угрожают безопасности движения поездов. Из-за проворота бандажей локомотив вынужден находиться в длительном простое на ремонте, направленном на замену бандажа, что приводит дополнительно к эксплуатационным затратам.

Повышение весовых норм на железнодорожном транспорте без дополнительных мероприятий, направленных на повышение надежности соединения «колесный центр – бандаж», также будет способствовать увеличению вероятности возникновения проворотов бандажей.

Целью данной работы является рассмотрение факторов, влияющих на ослабление посадки бандажа на колесном центре, выделение наиболее весомых. Проведённый анализ позволит обосновать целесообразность проведения новых исследований, направленных на повышения прочности посадки бандажа на колесном центре.

Технологический процесс сборки бандажного колеса гарантирует требуемый запас прочности для передачи крутящего момента, но из-за воздействия конструкторско-технологических факторов возникает проворот бандажей на колесном центре.

Особенно серьезное положение складывается с конструктивной особенностью колесных пар электровозов. Известно, что конструктивное исполнение составных колес ТПС выполнено в виде колесного центра и бандажа. С целью достижения уменьшения массы колесной пары широко используются спицевые и коробчатые колесные центры. По мнению специалистов, при эксплуатации с тяжеловесными поездами, конструктивная особенность колесных пар электровозов ВЛ10, ВЛ10У, ВЛ11, ВЛ80, имеющих коробчатую конструкцию спицевого колесного центра и относительно большой диаметр бандажа, служит катализатором сдвигов бандажей [2]. По мнению специалистов, именно в межспицевом пространстве возникает не плотность прилегания бандажа к ободу колесного центра.

Кроме того, опыт исследования прочности соединения бандажей с катаными и литыми колесными центрами показал, что конструктивная особенность и материал оказывает существенное влияние и на прочность бандажных колес тепловозов. Было отмечено, что с литым колесным центром основной натяг более 90 % воспринимает бандаж, и лишь 10 % – центр, тогда как с катаным колесным центром это соотношение равномерное [3]. По мнению исследователей, вследствие малой жесткости катаного центра, прочность соединения с бандажом может оказаться существенно ниже, чем с литым центром.

Однако положительный опыт эксплуатации катаных колёсных центров электровозов серии ЭП2К, 2ЭС6, 2ЭС10 подтверждает целесообразность и перспективность перевода на катаные центры основного локомотивного парка. Проведенные испытания на Северной железной дороге в 2011-2012 гг. опытной партии катаных колесных центров на тепловозах 2ТЭ10, взамен литых центров, показали эффективность их применения. Аналогичные результаты показали испытания на тепловозах 2ТЭ116, ТЭМ2 [4]. Несмотря на то, что после завершения эксплуатационных испытаний, по результатам осмотров колесных пар, ослабление посадки бандажей на центрах не наблюдалось, необходимость проведения дополнительных теоретических исследований остается, так как выбор натяга бандажа на колесном центре не был рационально обоснован.

В публикациях за последние годы многими авторами отмечается, что технологические факторы оказывают одно из наибольших влияний на прочность соединений с натягом. При обработке посадочных поверхностей

бандажей и колесных центров неизбежно появляется погрешность изготовления, но она допустима в определенных пределах, установленных в нормативных документах.

На сегодняшний день влияние макрогеометрии поверхности, характеризуемой отклонениями от правильной геометрической формы (конусность, овальность, бочкообразность и т.д.) на прочность соединений с натягом исследовано недостаточно. При этом причины возникновения погрешности геометрии формы хорошо известны. Она возникает в процессе обработки деталей из-за погрешности станка, погрешности базирования обрабатываемых деталей, износа режущего инструмента, погрешности измерительных инструментов, а также упругих деформаций в технологической системе СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь).

Конкретно к ТПС инструкцией ЦТ/329 установлено, что при расточке бандажа непостоянство диаметра в поперечном сечении допускается не более 0,2 мм при диаметре до 1175 мм и не более 0,3 мм при диаметре до 1250 мм [5]. Специалисты ранее отмечали, что превышение нормативных значений овальности и конусности бандажей в два раза способствует уменьшению площади фактического контакта на 60...70% [6]. В частности, на электровагоноремонтных заводах по результатам измерений все чаще выявляется такой дефект как овальность посадочных поверхностей бандажей, превышающая допуски на механическую обработку. Основной причиной появления дефекта, по мнению специалистов, является неправильное базирование бандажей на расточных станках.

Немаловажную роль для исследователей в последние годы играет изучение влияния шероховатости посадочных поверхностей на прочность соединений с натягом. При сборке бандажа с колесным центром регламентируемая величина шероховатости R_z не должна превышать 20 мкм [5], так как при более грубой обработке посадочных поверхностей фактическая площадь контакта снижается до 70 % [7]. При проведении экспериментальных исследований в ряде колесных цехов депо и локомотиворемонтных заводов было выявлено, что на отдельных колесных парах площадь прилегания достигала величины 30 – 45% и редко доходила до 90% [2].

Увеличение шероховатости приводит к уменьшению площади фактического контакта бандажа с колесным центром, поскольку происходит

смятие выступов сопряженных поверхностей на большую величину, тем самым уменьшая натяг. Исследователи отмечают, что уменьшение площади фактического контакта посадочных поверхностей бандажа и колесного центра в местах с повышенным удельным давлением приводит к интенсивному коррозионному изнашиванию [7]. Поскольку интенсивность изнашивания возрастает с ростом нагрузки, изменением объемной температуры, а также с ростом амплитуды и частоты колебаний, то необходимость дополнительного контроля параметров шероховатости посадочных поверхностей бандажа и колесного центра можно считать достаточно обоснованной.

Кроме того, на предприятиях, занимающихся обточкой колесных центров и бандажей, все чаще фиксируется несоответствие параметров шероховатости посадочных поверхностей регламентированным техническим требованиям. Одной из причин несоответствия является проведение субъективного контроля параметров шероховатости на основе сравнения обработанных поверхностей с эталонами шероховатости, что не всегда гарантирует точность измерений. В связи этим, в настоящее время продолжается разработка и совершенствование методик проведения контроля шероховатости посадочных поверхностей колесных пар локомотивов. Использование прибора, разработанного на кафедре «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), позволяет уже дать объективные результаты измерений параметров шероховатости, что в дальнейшем, по мнению исследователей, будет способствовать сокращению количества отказов колесных пар по причине ослабления бандажа на колесном центре [8].

Немаловажным является рассмотрение технологии проведения насадки бандажа с натягом на колесный центр. В соответствии с инструкцией, для обеспечения необходимой плотности посадки внутренний диаметр бандажа должен быть меньше диаметра обода центра на 1,2 – 1,6 мм на каждые 1000 мм диаметра обода колесного центра [5]. Для обеспечения заданного натяга, перед посадкой внутренний диаметр бандажа и внешний диаметр обода колесного центра обмеряют. Измерение производят с помощью стандартных измерительных приспособлений (бандажного штангенциркуля и бандажного нутрометра) как разницу диаметров посадочных поверхностей. Данный способ измерения позволяет осуществлять контроль лишь тогда, когда колесная пара еще не сформирована. В связи с необходимостью проведения контроля

величины натяга уже сформированных колесных пар, разрабатываются и совершенствуются методы неразрушающего контроля натяга [9].

Технология формирования составных колес ТПС предполагает тепловую сборку бандажа с колесным центром с помощью электрического или газового горна, обеспечивающего равномерное нагревание до температуры 250 – 300 °С [5]. При этом разность температур различных участков бандажа при нагреве допускается не более 50 °С. По мнению специалистов, установленная нормативными документами температура нагрева бандажа завышена, так как для свободной посадки достаточно производить нагрев до температуры 150 °С [6]. Нарушение температурных режимов тепловой посадки может привести к ухудшению не только механических свойств материала бандажей, но и к повышению уровня остаточных напряжений, что способствуют увеличению вероятности возникновения хрупкого разрушения, приводящее к разрыву бандажей. Исследования напряженно-деформированного состояния бандажных колес при сборке с использованием индукционного нагревательного устройства (ИНУ) показали, что возможными причинами ослабления соединений колеса как раз является нарушение режимов работы ИНУ [10].

В большинстве случаев проворот бандажей относительно колесного центра происходит при совместном действии конструктивных и эксплуатационных факторов. Наиболее распространенной причиной ослабления посадки является применение фрикционного торможения при помощи колодочного тормоза. Проведенные исследования влияния условий эксплуатации на прочность соединения «колесный центр – бандаж» колес тепловоза свидетельствуют, что определяющим условием снятия натяга является совместное воздействие механических и тепловых нагрузок. Кинетическая энергия движущегося поезда при торможении преобразуется в тепловую энергию, приводящую к нагреву тормозных колодок и колес. Тепловая энергия, выделяемая при торможении, приводит к постепенному расширению посадочного диаметра бандажа. Исследователи отмечают, что температурное поле приводит к существенному снижению сжимающих напряжений в соединении «колесный центр – бандаж», тем самым ослабляя натяг. Проведенные натурные испытания ВНИИЖТа по оценке надежности соединения бандажа с колесным центром показали, что интенсивность торможения оказывает существенное влияние на снятие натяга [7]. По

результатам теоретических расчетов, при экстренном торможении снижение натяга происходит на 0,5 мм, при длительном на 0,8 мм [6]. И хотя оставшийся натяг исключает возможность проворота, при наличии превышающей погрешности геометрии формы сопряженных деталей, проворот возможен. Кроме того, превышение тормозных усилий при торможении, а также применение экстренного торможения могут способствовать не только разрушению всех тормозных колодок, но и одновременному провороту всех колесных пар локомотива.

При рассмотрении эксплуатационных факторов, следует также учитывать и ударные воздействия, возникающие при прохождении колеса по рельсовым стыкам и крестовинам. Отмечают, что наибольшее силовое воздействие на соединение происходит в зимний период при промерзании балластной призмы, так как увеличивается жесткость пути. По мнению ученых, это усилие может многократно возрастать в совокупности с неплавностью сопряжения зубьев тяговой передачи, а также вибрацией тягового электродвигателя [7]. В совокупности, рассматриваемые факторы могут способствовать разупрочнению посадки бандажей на колесном центре.

Таким образом, можно выделить ряд факторов оказывающих существенное влияние на ослабление посадки бандажа на колесном центре. Превышение допустимых значений погрешностей формы, а также величин шероховатости при совместном воздействии эксплуатационных факторов приводит к ослаблению посадки и дальнейшему провороту бандажа. Поэтому проведение исследований по повышению надежности бандажных колес локомотивов в настоящее время необходимо.

Список литературы

1. Буйносов, А. П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: Монография [Текст] / А. П. Буйносов / ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». М., 2010. – 224 с.
2. Сашко, А. А. Отчего повреждаются бандажи [Текст] / А. А. Сашко // Локомотив. – 2005. – № 10. – С. 36 – 37.

3. Никольская, Э. Н. Прочность соединения бандажей с катаными и литыми колесными центрами железнодорожных колес [Текст] / Э. Н. Никольская, В. И. Грек, Ю. С. Дроздов. // Динамико-прочностные исследования узлов и агрегатов тепловозов и путевых машин: Труды / ВНИТИ. Коломна, 1982. Вып. 55. С. 75 – 82.
4. Катанные колёсные центры для магистральных тепловозов 2ТЭ10, 2ТЭ116 [Текст] / Г. И. Брюнчуков, А. В. Сухов и др. // Вестник ВНИИЖТ. – 2015. – №2. – С. 45 – 52.
5. Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм с изменениями и дополнениями, утвержденными указанием МПС России от 23.08.2000 № К-2273у; ЦТ/329. М.: Транспорт. 2000. – 78 с.
6. Стаценко, К. А. Повышение долговечности колесных пар электровозов технологическими методами: Дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. / К. А. Стаценко. – Екатеринбург, 2004. – 159 с.
7. Бородин, А. В. Повышение несущей способности соединения колесный центр-бандаж [Текст] / А. В. Бородин, Л. В. Ярышева // Локомотив. – 2015. – №6. – С. 39 – 41.
8. Контроль шероховатости внутренней поверхностей бандажей колесных пар электровозов [Текст] / А. П. Буйносов, К. А. Стаценко и др. // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2015. – С. 143 – 148.
9. Буйносов, А. П. Определение натяга бандажа на ободу колесного центра электровоза с помощью ультразвуковых импульсов [Текст] / А. П. Буйносов, К. А. Стаценко, Е. В. Бган // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. – № 10. – С. 91 – 100.
10. Андреев, Г. А. Причины ослабления соединений элементов колеса тепловоза [Текст] / Г. А. Андреев, В. А. Щенкин // Вестник машиностроения. – 2014. – № 1. – С. 37 – 38.

В. В. Петров, К. С. Петров, С. А. Ступаков

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВАГОННОЙ ТЕЛЕЖКИ И КОЛЕСНЫХ ПАР ДВИЖУЩЕГОСЯ СОСТАВА

В работе рассмотрен подход к эффективному решению задачи внедрения инновационных технологий для диагностирования технического состояния вагонных тележек движущегося состава путем совершенствования инструментальной техники, технологической оснастки и информационных технологий на объектах железнодорожного транспорта. Дан анализ предложенной интегральной оценки отклонения кинематических параметров вагонной тележки от нормативных значений и описана микропроцессорная система для измерения временных параметров сигналов, поступающих от датчиков осей. Сделаны выводы о достоинствах описанной системы и предложены пути ее дальнейшего совершенствования для повышения безопасности движения на железнодорожном транспорте.

На современном этапе развития железнодорожного транспорта, благодаря внедрению новых информационных технологий, средства автоматизации диагностирования состояния подвижного состава должны выходить на качественно новый уровень. Для этого необходимо искать новые эффективные решения, которые базируются на совместном применении уже имеющейся на железных дорогах инфраструктуры, микропроцессорных контроллеров и компьютерной обработки результатов измерений в процессе диагностирования объектов на основе применения элементов искусственного интеллекта [1].

Надежность работы любых диагностических систем в основном определяется точностью модели, на которой базируются промежуточные результаты и окончательные выводы о возможности дальнейшей эксплуатации объекта, а используя стохастические методы интеллектуальной обработки данных можно получить некоторую оценку достоверности полученного результата. В [2, 3] описана структура информационной системы, использующей некоторые ресурсы пункта обнаружения нагрева аварийных букс (ПОНАБ), на основе которой решается задача идентификации различных типов вагонов в составе движущегося поезда. Процедура идентификации типа

вагона по межосевым расстояниям предполагает нахождение остаточной дисперсии, возникающей при одновременном воздействии многих факторов, в том числе и из-за несовпадения измеренных параметров межосевых расстояний каждого вагона с их нормативными значениями. Следовательно, имеется реальная возможность использования значений остаточной дисперсии, полученных в процессе идентификации типа подвижной единицы, для выявления изменений конструктивных параметров тележки (например, из-за износа деталей в процессе эксплуатации), которые сложно определить в процессе инструментального контроля, так как каждый фактор по отдельности может удовлетворять техническим нормам, а по совокупности этих факторов вагонная тележка в реальных условиях эксплуатации может двигаться с некоторым перекосом вдоль рельсового пути, а это может быть выявлено только в процессе ее движения в составе поезда.

В процессе эксплуатации подвижного состава износ обода колеса является следствием воздействия пластической деформации, в результате которой металл выдавливается с поверхности катания к наружному краю и вершине гребня, а термическое воздействие при колодочном торможении усугубляет этот процесс. Наличие частичного всползания колеса из-за перекоса вагонной тележки на рельсовом пути является основной причиной интенсивного подреза гребней обода колесных пар.

Даже небольшие отклонения основных параметров вагонных тележек от нормы и несимметрия геометрических размеров приводят к смещению колесных пар тележек в процессе движения, которые увеличиваются со временем и могут привести к существенному перекосу тележки и преждевременному износу колесных пар. Таким образом, основные причины, которые нарушают нормальное функционирование подвижного состава: различные диаметры колес; неравномерный износ и изменение профиля ободьев; различное межосевое расстояние колесных пар вагонной тележки; люфт в рамах или подшипниках; различная упругость пружин и различная эффективность работы тормозных колодок. Учитывая это, перекос тележки во время движения может быть использован в качестве интегральной оценки (критерия) при диагностировании суммарного влияния перечисленных конструктивных параметров и выявлении их отклонений от нормативных

значений для оценки технического состояния вагонной тележки и повышения безопасности движения.

На железнодорожном транспорте разработаны и используются инструкции по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар. В них установлены порядок, сроки осмотра, освидетельствования и ремонта колесных пар, а также нормы и требования, которым они должны удовлетворять [4, 5]. Согласно этим инструкциям в России толщина обода цельнокатаного колеса не должна быть меньше 22 мм. Допустимое отклонение расстояния между внутренними боковыми поверхностями ободьев колес в одной колесной паре от +1 до –2 мм; разность расстояний между внутренними боковыми поверхностями ободьев колес не более 1,5 мм; разность диаметров колес по кругу катания в одной колесной паре не более 1 мм; отклонение от соосности кругов катания колес не более 1 мм и т. д. Если даже каждый из этих параметров конкретной вагонной тележки удовлетворяет требованиям инструкции (при измерениях в статическом режиме), то в случае их взаимного наложения в процессе движения по рельсовому пути (в динамическом режиме) может возникнуть определенный перекося положения вагонной тележки, который позволяет выявить и зафиксировать предлагаемая система идентификации и диагностирования.

Процедура измерения временных интервалов в процессе движения состава над магнитными педалями (датчиками осей в системах «Диск» или КТСМ ПОНАБ) установленными на определенном расстоянии друг от друга, заключается в формировании длительности импульсов между сигналами, поступающими от первого и второго датчиков (t_{11} , t_{21}), а также следующего временного интервала – между сигналами от второго и первого датчиков (t_{12} , t_{22}), после чего цикл повторяется как последовательность временных интервалов t_{1i} и t_{2i} , где i – номер очередной оси. При известном стабильном периоде дискретизации (частоты на входах таймеров), имеется возможность преобразования сформированных временных интервалов в двоичный код, имеющий двухбайтовый формат, которые обозначим как T_{1i} и T_{2i} . Зная расстояние между датчиками (например, $L_0 = 500$ мм), можно вычислить текущее значение скорости i -ой оси:

$$V_i = 500 / T_{1i}, \quad (1)$$

причем размерность скорости оси представлена в миллиметрах на один период дискретизации, который определяется периодом тактовых импульсов на счетном входе таймера. Межосевое расстояние можно рассчитать, используя значение суммы интервалов времени T_{1i} и T_{2i} (то есть промежуток времени между прохождением над одним датчиком соседних осей), которое формируется с разрешающей способностью до миллиметра:

$$L_i = V_i T_{2i} + 500. \quad (2)$$

Принцип формирования измеряемых временных интервалов показан на рис. 1, где высокий уровень сигнала означает момент прохождения колесной пары между датчиками Д1 и Д2.

Для проведения измерений в режиме реального времени сигналы датчиков Д1 и Д2 с выхода формирователей импульсов поступают на входы R и S триггера, выходы которого подключены к соответствующим входам запросов прерывания микропроцессорного контроллера $Int0$ и $Int1$ для управления работой таймеров. Микропроцессорный контроллер обеспечивает считывание состояния клавиатуры, прием сигналов от датчиков осей Д1 и Д2, выполнение предварительных расчетов, запись и хранение результатов в блоке памяти, передачу данных в персональный компьютер и представление результатов на индикаторе. Прибор реализован на основе 8-разрядного микроконтроллера с достаточными ресурсами для решения данной задачи в режиме реального времени. При тактовой частоте 7372,8 кГц обеспечивает стандартную скорость передачи данных в ПК, внутренняя память программ МПК имеет объем 8 Кбайт, что достаточно для размещения программного обеспечения контроллера [6]. Структурная схема МПК представлена на рис. 2.

Для временного хранения исходных данных и результатов измерений используется CMOS-память емкостью 32 Кб, которая в отличие от Flash-памяти имеет практически неограниченный ресурс работоспособности. Вся информация пересылается в центральный пункт сбора и обработки данных, на котором установлен сервер для работы с базой данных. Программное обеспечение системы состоит из двух частей:

- программы, хранящиеся в памяти микроконтроллера, обеспечивают обработку сигналов в процессе приема данных от датчиков осей, временное хранение и передачу результатов предварительных вычислений в ПК;

– программы, находящиеся на ПК, обеспечивают прием данных от контроллера, обработку данных и хранение полученных результатов в базе данных, а также предоставляет оперативный доступ к информации о времени и результатах идентификации типа вагона и диагностирования состояния его кинематики на основе предложенных интегральных критериев.

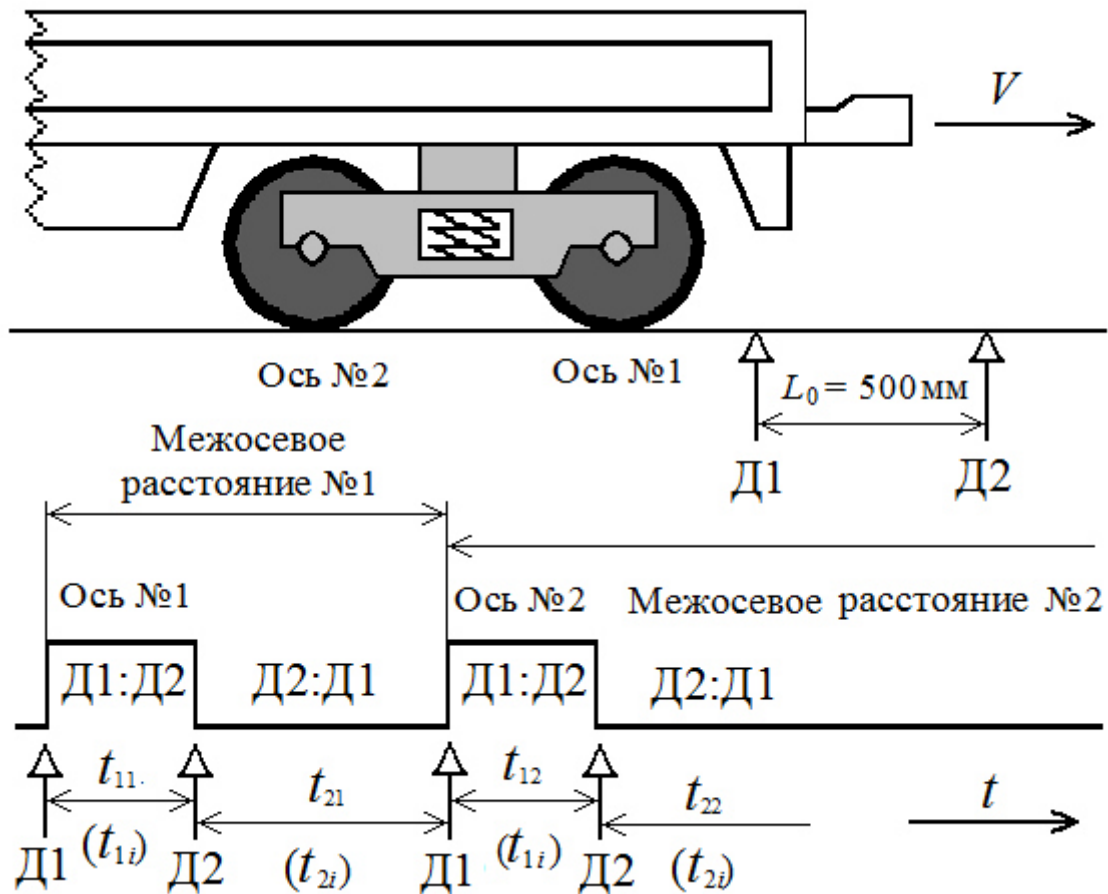


Рис. 1. Принцип формирования временных интервалов t_{11} , t_{21} и t_{12} , t_{22}

Процесс автоматической идентификации и диагностирования состояния транзитного подвижного состава проходит в четыре этапа:

– вычисление скорости (1) движения осей над датчиками (магнитными педалями) и масштабирование измеренных интервалов времени для получения реальных значений межосевых расстояний (2).

– идентификация конкретного типа единицы подвижного состава путем сравнения сформированного идентификационного признака с нормативным показателем из структуры, описывающей различные типы вагонов и локомотивов;

- вычисление разности между полученными межосевыми расстояниями вагонов и нормативными значениями идентифицированных типов вагонов;
- сравнение вычисленных на предыдущем этапе разностей с предельными значениями допустимых отклонений интегрального критерия, которые определяют заранее по результатам моделирования. Вагоны, у которых значения отклонений межосевых расстояний больше, чем установленные предельные значения, отмечаются как «подозрительные» и списочные номера этих вагонов заносятся в базу данных для последующего более тщательного осмотра на ближайших контрольных пунктах или постах безопасности по пути следования состава.

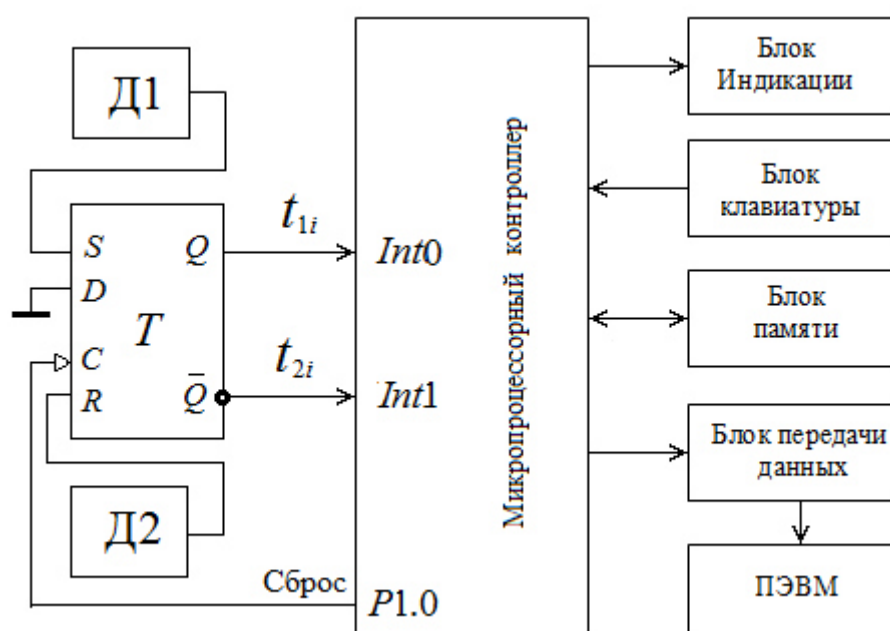


Рис. 2. Структурная схема микропроцессорного контроллера для измерения и предварительной обработки интервалов t_{1i} и t_{2i}

В данной работе алгоритм идентификации типа подвижной единицы, основан на преобразовании вектора идентификационных параметров, доступных для измерения ($L_1, L_2, L_3, \dots$), в идентификационный признак K_{id} скалярного вида, на основе которого существенно упрощается алгоритм идентификации типа конкретной подвижной единицы:

$$K_{id}(m) = \frac{\sum_{n=1}^{m/2-1} L_{2n-1}}{\sum_{n=1}^{m/2} L_{2n}}, \quad (3)$$

где L – расстояние между соседними осями, а m – число осей идентифицируемой подвижной единицы, например, для четырехосного вагона ($m = 4$) идентификационный признак имеет вид:

$$K_{id}(4) = \frac{L_1 + L_3}{L_2}. \quad (4)$$

Оценку возможности применения результатов измерения межосевых расстояний с помощью магнитных педалей ПОНАБа, на основе которых осуществляется идентификация и диагностирование состояния подвижных единиц, произведем на основе экспериментально полученных данных с помощью описанной выше системы и алгоритмов (3, 4). Результаты измерений и обработки экспериментальных данных представлены в таблице 1.

Анализ результатов обработки этих экспериментальных данных показал, что остаточная дисперсия межосевых расстояний алгоритма идентификации составляет $9,04708E-05$ (СКО = 0,009511615), следовательно, гарантируется надежное определение конкретного типа подвижной единицы железнодорожного транспорта. Среднее квадратичное отклонение межосевых расстояний (МР) от нормативных значений – 41,85 мм, которое составляет не более 0,5% ($41,85/10500 \cdot 100\% = 0,398\%$) от общей межосевой базы вагона, поэтому точность такого результата можно считать довольно высокой для обычной магнитной педали. Однако для более достоверного контроля и идентификации отклонений кинематических параметров движения вагонных тележек движущегося состава необходимо обеспечить более высокую точность измерений МР и дополнительно исследовать чувствительность применяемых магнитных педалей к диаметру и толщине ободьев, расстоянию до плоскости колеса и ферромагнитным свойствам материала, из которого они изготовлены.

Таблица 1

Результаты измерения и обработки межосевых расстояний (МР)

Номер МР	Интервал T_{1i} , с	Интервал T_{2i} , с	Длина МР, мм	Оценка K_{id} МР	Норма K_{id} МР	Норма МР, мм	Отклонение МР от нормы
1	0,04371	0,21356	3001,78	1,35017	1,33333	3000	1,7776
2	0,04452	0,34336	4443,37		Секция	4500	-56,631
3	0,04392	0,21422	2997,53		ВЛ-10	3000	-2,4727
4	0,04367	0,21302	2997,75	1,34117	1,33333	3000	-2,2464

5	0,04456	0,34434	4451,05		Секция	4500	-48,945

Окончание таблицы 1

Номер МР	Интервал T_{1i} , с	Интервал T_{2i} , с	Длина МР, мм	Оценка K_{id} МР	Норма K_{id} МР	Норма МР, мм	Отклонение МР от нормы
6	0,04452	0,21491	2971,91		ВЛ-10	3000	-28,093
7	0,04499	0,11858	1854,21	0,54138	0,54411	1850	4,2054
8	0,04341	0,54183	6875,66		Полувагон	6800	75,66
9	0,04417	0,11763	1868,19		12-757	1850	18,191
10	0,04382	0,11489	1847,15	0,55409	0,54411	1850	-2,8503
11	0,04491	0,54641	6715,06		Полувагон	6800	-84,943
12	0,04381	0,11714	1873,65		12-757	1850	23,648
13	0,04461	0,11653	1842,22	0,54113	0,54411	1850	-7,7808
14	0,04421	0,55061	6861,76		Полувагон	6800	61,755
15	0,04431	0,11824	1870,92		12-757	1850	20,921

По результатам выполненной работы можно сделать выводы:

- анализ причин отклонений кинематики вагонной тележки показал, что величину ее перекоса в процессе движения вагона по прямолинейному участку рельсового пути, можно использовать в качестве интегральной оценки для диагностирования общего технического состояния вагонных тележек;

- для дальнейшего совершенствования системы, необходима более точная многофакторная математическая модель кинематики вагона, определяющая связь величины перекоса тележки в процессе движения состава на прямолинейном участке пути с конструктивными отклонениями различных параметров вагонных тележек от нормы;

- для повышения точности измерения интервалов времени между моментами прохождения колес вагона над датчиками осей необходимо установить четыре магнитные педали (по два с каждой стороны пути) и синхронно регистрировать моменты прохождения осей над всеми датчиками;

- предлагаемая система фактически расширяет возможности системы, реализованной в пункте обнаружения нагрева аварийных букс, которая, кроме температуры нагрева букс, позволяет контролировать и состояние вагонных тележек на основе предложенного интегрального критерия, что способствует повышению безопасности движения.

– описываемая система способна обеспечить не только идентификацию типа подвижной единицы, но и диагностирование параметров кинематики вагонных тележек при минимальных затратах на изготовление и эксплуатацию.

Список литературы

1. Гудков, А. А. Искусственный интеллект: перспективы практического использования в машиностроении [Текст] / А. А. Гудков, Н. В. Мищенко, М. В. Терехина // Новая наука: Современное состояние и пути развития / ООО «Агентство международных исследований». – Уфа, 2016. № 3-2. – С. 109 – 113.
2. Кандаев, В. А. Система идентификации движущихся вагонов и состава в целом. Железнодорожный транспорт Сибири: проблемы и перспективы [Текст] / В. А. Кандаев, В. В. Петров. // Материалы межвузовской научно-технической конференции, посвященной 160-летию отечественных железных дорог и 100-летию железнодорожного образования в Сибири / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 1998. – С. 115 – 116.
3. Кандаев, В. А. Автоматизированная система сопровождения транзитных поездов. Автоматика, связь, информатика [Текст] / В. А. Кандаев, В. В. Петров, В. М. Черненко, В. А. Захаров. 1999. №7, – С. 11– 13.
4. Совершенствование технологии ремонта и технического обслуживания вагонов [Текст]: межвуз. тем. сборник научных трудов / Омский гос. ун-т путей сообщения; ред. В. В. Лукин. – Омск: ОмГУПС, 2009. – 71 с.
5. Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава [Текст]: в 3 ч.: материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения; отв. ред. И. И. Галиев; ред. С. М. Овчаренко [и др.]. – Омск: ОмГУПС, – Ч. 3. 2015. – 253 с.
6. Дьяков, И. А. Микропроцессорные системы. Архитектура микроконтроллеров семейства MCS-51 [Текст] / И. А. Дьяков. – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 79 с.

Т. В. Васеева, А. В. Александров

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТОДАМИ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

В статье рассматривается обзор реализации алгоритмов вычисления корреляции. Сделаны выводы о достоинствах применения существующих методов корреляционного анализа. Разложение на короткие корреляции является наилучшим способом и обладает высокой вычислительной эффективностью по сравнению с другими методами.

Понятие корреляция появилось в XIX веке благодаря работам Френсиса Гальтона и Карла Пирсона. Ученый Гальтон применил термин co-relation, что означает «связь» и «соотношение». В развитие методов корреляционного анализа следует отметить заслуги следующих ученых: К. Пирсон, Х. Спирмен, А. Бравэ, Г. У. Юл, А. А. Чупров, С. М. Бартлет, М. Г. Кендел, С. Коллер, М. Езекиэл и др.

Исследования в области корреляционного анализа позволяют улучшить методы диагностирования [5]. В статье [1] предложен метод диагностирования предотказных состояний с использованием корреляционного анализа данных микропроцессорных систем. В работе проанализированы данные 880 поездок 67 тепловозов серии 2ТЭ116У по трем железным дорогам: Свердловской, Приволжской и Октябрьской. Проведен корреляционный анализ проверкой токов, с целью выявления отклонений (неисправностей) в цепи одного из двигателей.

На основании изложенных данных [1] можно сделать вывод, что исследования в области использования статической обработки данных для диагностирования предотказных состояний тепловозов с помощью корреляционного анализа, позволяют выявить до наступления зафиксированного в эксплуатации отказа. Коэффициент корреляции зависит от величин: второго смешанного начального момента, математического ожидания и среднеквадратического отклонения. Коэффициент корреляции между средним значением тока и током каждого из «токов тяговых

электродвигателей» (ТЭД) ближе к единице, что означает наличие сильной связи, при исправном состоянии силовой подсистемы тепловоза. Меньший коэффициент соответствует случаям потери или отсутствия сигнала датчиков тока.

В статье [2] предложен метод корреляционного анализа статических данных по объемам механической обработки и величины дефектов. Коэффициент корреляции зависит от величин: глубины дефекта на поверхность катания колеса, припуска на механическую обработку и объема выборки. Полученные расчетные значения коэффициентов корреляции для колесных пар показывают слабую взаимосвязь, т. к. результаты отрицательные. В большинстве случаев припуск необоснованно завышенный, поэтому срок службы колеса сокращается из-за расхода полезного слоя металла колеса в стружку.

Величина дефектного слоя зависит от различных параметров: нагрузки на ось колесной пары, температуры металла в пятне контакта колеса и рельса, времени движения колеса по рельсу юзом, температуры окружающей среды, скорости движения металла в пятне контакта после прекращения движения колеса по рельсу юзом. Исследования в статье [2], в области механизма назначения припуска на механическую обработку профиля катания колеса позволит продлить срок службы вагонных колес, поступающих в ремонт с дефектами термического происхождения.

В статье [3] предложен метод корреляционно-регрессионного анализа. В работе проанализированы данные магистральных грузовых электровозов серии 2ЭС6 «Синара» и ВЛ10 на участке Барабинск–Московка. Для исследования выбраны факторы: масса состава, нагрузка на ось, температура, количество остановок, количество ограничений скорости, участковая и техническая скорость. Данные извлечены из картриджей регистраторов движения. Основные расчеты получены в программе Statistica. Минимальное значение вероятности отклонения гипотезы о значимости частных коэффициентов корреляции в четном направлении с фактором «нагрузка на ось» ($p = 0,000114$). Максимальное значение в четном отклонении с фактором «техническая скорость» ($p = 0,91$). Максимальное значение в нечетном отклонении с фактором «нагрузка на ось» ($p = 2,9 \cdot 10^{12}$). Минимальное значение в нечетном отклонении с фактором «количество ограничений скорости» ($p = 0,37$). В результате описанного анализа [3]

можно выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на электровоз серии 2ЭС6 и ВЛ10: масса состава, температура, техническая и участковая скорость.

Обзор в области исследования позволяет сделать вывод, что корреляционный анализ улучшает технологию работы на железнодорожном транспорте. Расчетные значения коэффициентов корреляции оценивают тесноту взаимосвязи между двумя случайными величинами.

Существует различные способы вычисления корреляции:

– прямой метод:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{L-1} h(k)x(n+k) \quad (1)$$

где $x(n)$ – длина N последовательностей номеров, которые принято считать входным сигналом; $h(n)$ – длина L последовательностей номеров, которые принято считать коэффициентами фильтра; $x(n)$ – это фильтр выхода (выходной сигнал);

- алгоритм с использованием Быстрого Преобразования Фурье (БПФ);
- разложение на короткие корреляции.

Эффективный метод вычисления корреляции с помощью алгоритма Быстрого Преобразования Фурье (БПФ) описан в работах ученых: J. Cooley, S. Winograd, R. Blahut, Г. Нуссбаумера, Л.М. Гольденберга, А. Оппенгейма и др. [4].

Метод алгоритма разложение на короткие корреляции был предложен в 1987 году Z. J. Mou и P. Duhamel [6]. Данный метод состоит в разбиении одномерных последовательностей на четные и нечетные отсчеты. Вычисления осуществляются при сложении полученных коротких корреляций. Данный метод сокращает вычислительную сложность на 25% [4,5].

Наиболее распространенным алгоритмом Быстрого Преобразования Фурье (БПФ) является алгоритм Кули-Тьюки. Алгоритм реализации свертки является простым алгоритмом Кули-Тьюки быстрого преобразования Фурье (БПФ), который быстрее обычного дискретного метода. Концепция метода алгоритм Кули-Тьюки заключается:

- дискретное преобразование Фурье (ДПФ) размерности N выражается через сумму дискретного преобразования Фурье более малых размерностей N_1 и N_2 ;

- N_1 и N_2 рекурсивно выражаются через дискретное преобразование Фурье еще более малых размерностей;
- разложение дискретного преобразования Фурье в сумму 2 частей (первая часть – сумма по четным индексам, вторая часть – сумма по нечетным).

Методы алгоритма разложения хорошо работают для обработки среднего количества элементов. А через алгоритм Быстрого Преобразования Фурье (БПФ) для большого количества элементов.

Исследование зависимостей и взаимосвязей между существующими явлениями и процессами играет важную роль. Понимание методов требует знание математической статистики. Корреляция позволяет определить степень независимости одного процесса от другого или установить сходство. Математическое вычисление корреляции и свертки схоже, поэтому данные методы могут использовать похожие алгоритмы вычисления. Фильтр – система или сеть, избирательно меняющая форму сигнала (амплитудно-частотную или фазово-частотную характеристику). Термин фильтр можно определить как, математический алгоритм, который действует на входной и генерирует выходной сигнал [7].

Рассмотренные выше методы можно также использовать для реализации цифровой фильтрации. Окончательная импульсная характеристика цифрового фильтра и свертки находится как:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{L-1} h(k)x(n-k) \quad (2)$$

где $x(n)$ – длина N последовательностей номеров, которые принято считать входным сигналом; $h(n)$ – длина L последовательностей номеров, которые принято считать коэффициентами фильтра; $x(n)$ – это фильтр выхода (выходной сигнал). Из уравнения (2), выходной сигнал может быть длиной $(N + L - 1)$ последовательностей номеров. Фактически можно расписать как, $(N - 1)(L - 1)$. Если сигнал и длина фильтра это два расстояния N , то говорим, что арифметическая сложность порядка N^2 .

Вывод: каждый из существующих методов корреляционного анализа может быть эффективен для определенных задач и условий. На основании выше сказанного следует, что разложение на короткие корреляции является

наилучшим способом и обладает высокой вычислительной эффективностью по сравнению с другими методами.

Список литературы

1. Лакин, И. К. Применение статистических методов при диагностировании тепловозов [Текст] / И. К. Лакин, А. А. Аболмасов, В. А. Мельников // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2015. – №1(21). – С. 20 – 29.
2. Обрывалин, А. В. Продление срока службы вагонных колес, поступающих в ремонт с дефектами термомеханического происхождения [Текст] / А. В. Обрывалин, Н. А. Кваскова // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2015. – №1(21). – С. 44 – 49.
3. Истомин, С. Г. Пробация метода снижения удельного расхода и непроизводительных потерь электроэнергии в границах зон учета железной дороги [Текст] / С. Г. Истомин // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2017. – №1(29). – С. 64 – 74.
4. Альтман, Е. А., Быстрый алгоритм вычисления двумерной корреляции для видеообработки / Е. А. Альтман, Е. И. Захаренко – Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – № 2 (36). – С. 119-124.
5. Анализ основных показателей работы железнодорожного транспорта // Информационные технологии URL: <http://rostransport.com/transportrf/pdf/10-11/60-63.pdf> (дата обращения: 14.10.2017).
6. Mou Z. J. Fast FIR filtering: algorithms and implementations / Z. J. Mou, P. Duhamel // Signal Processing. – 1987. – Vol. 13, № 4. – P. 377–384
7. Айфичев, Э. Цифровая обработка сигналов. / Э. Айфичев, Б. Джервис – 2-е издание изд. - М., СПб., Киев: Издательский дом «Вильямс», 2004.

Е. П. Челтыгмашев

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕЛЕЖКИ

Выполнен сравнительный анализ динамической нагруженности типовых вагонов с тележкой 18-100 и вагонов с тележкой, имеющей рессорное подвешивание, оснащенное компенсирующим устройством. Установлены значительно лучшие динамические качества данного экипажа по сравнению с вагоном с типовой тележкой.

В современных условиях, когда к подвижному составу предъявлены жесткие требования безусловного обеспечения безопасности движения поезда и существенного увеличения технического ресурса его узлов, создание системы рессорного подвешивания тележки грузового вагона, обеспечивающей достижение его высоких показателей динамических качеств, является одной из основных проблем для разработчиков транспортных железнодорожных средств.

Подавляющее большинство грузовых вагонов России и стран бывшего СССР оборудовано тележками модели 18-100 и ее модификациями. Практика эксплуатации грузовых вагонов с этими тележками и многочисленные исследования выявили ряд характерных недостатков, доминирующими из которых являются не в полной мере отвечающая современным требованиям эксплуатации низкие динамические свойства вагонов, характеризующиеся большими уровнями как вертикальных так и горизонтальных колебаний кузова вагона, снижающих запас устойчивости против вкатывания гребня колеса вагона на рельс, а также интенсивный износ гребней колес.

Сегодня на ряде направлений пассажирские поезда развивают скорость 140–160 км/ч, а скорость грузовых поездов в порожнем режиме движения вагонов в кривых участках пути радиусом менее 650 метров, составляющих 12% сети железных дорог, ограничена 60 км/ч. Причиной такого ограничения скорости порожних вагонов является их неудовлетворительная динамика, (интенсивные колебания подпрыгивания, боковой качки и виляния кузова,

снижающая коэффициент запаса устойчивости порожних грузовых вагонов от схода с рельсов, определяемый по формуле [1]:

$$k_y = \frac{P_b}{Y_6} \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} \geq [k_y], \quad (1)$$

где P_b и Y_6 – соответственно вертикальное давление колеса в точке его контакта с гребнем и боковая сила, действующая на колесо со стороны рельса; β – угол наклона гребня колеса; μ – коэффициент трения скольжения, $[k_y]$ – минимальное значение коэффициента запаса устойчивости, равное 1,4.

Согласно работе [2] давление на колесную пару железнодорожного экипажа определяется статической нагрузкой и динамической добавкой, зависящей от массы кузова, во много раз превышающей массу колесной пары и приходящейся на ее ось, и его ускорения подпрыгивания в вертикальной плоскости симметрии экипажа.

Анализ формулы (1) указывает на совокупность принятия следующих мер: улучшения показателей как вертикальной так и горизонтальной динамики экипажа, влияющих на уровень формирования вертикального давления на колесо и боковой силы; выбора соответствующего угла наклона гребня колеса и уменьшения коэффициента трения скольжения. Последнее осуществляется посредством лубрикации поверхностей контакта колеса и рельса в кривых участках пути.

Для снижения разброса силы вертикального давления колеса на рельс необходимо повышение плавности хода подвижного состава, что можно обеспечить путем совершенствования рессорного подвешивания вагона и снижения его необрессоренной массы.

Проведенная модернизация тележки модели 18-100 за счет установки износостойких прокладок в узлах трения направлена, скорее, на повышение ресурса, чем на решение проблемы устойчивости колес в колее, что не позволяет снять ограничения скорости в кривых участках пути малого радиуса.

Для их устранения крайне необходима разработка новых технических решений, обеспечивающих лучшие динамические качества системе «вагон-путь».

Показатели динамических качеств подвижного состава (плавность хода, влияющая на уровень безопасности движения поезда и сохранность

перевозимых грузов, динамические силы в рессорном подвешивании и др.), зависят от параметров рессорного подвешивания его ходовой части и от уровня возмущений, действующих со стороны пути на подвижной состав.

Кардинальной мерой снижения виброактивности источника возмущений со стороны рельсового пути является создание бесстыкового пути, что осуществляется на многих участках Российских железных дорог. Вместе с тем обеспечить решение задачи создания эффективного рессорного подвешивания тележки грузового вагона при использовании типовой структурной схемы «упругий элемент-гаситель колебаний» удастся не в полной мере, несмотря на создание билинейного рессорного подвешивания вследствие того, что величина прогиба рессорного подвешивания жестко ограничена требованием недопущения саморасцепа автосцепок соседних вагонов, а также из-за необходимости обеспечения конструктивного запаса динамического прогиба в груженом положении вагона.

При полном выборе этого конструктивного прогиба, возможном в случае большого бокового давления ветровой нагрузки и при движении в кривых участках пути возможна полная потеря виброзащитных свойств системы обрессоривания вагона, что приведет к возникновению ударных нагрузок на узлы вагона и верхнего строения пути.

Исходя из изложенного, необходимо создание системы обрессоривания экипажа с нелинейной силовой характеристикой, обеспечивающей вагону высокие показатели динамических качеств как порожнем, так и в груженом режимах его движения.

Одним из перспективных способов решения проблемы повышения динамических качеств подвижного состава является применение принципа компенсации внешних возмущений [3]. Отличительной особенностью систем виброзащиты, основанных на названном принципе, является то, что компенсирующее устройство такой системы рессорного подвешивания тележки функционирует только в процессе колебания тележки.

Для получения сравнительной оценки динамических свойств механической колебательной системы «вагон-путь», в первом случае – с типовой схемой обрессоривания тележки, во втором – с компенсирующим устройством, составлены расчетные схемы, приведенные на рис. 1 и рис. 2.

При движении порожнего вагона рессорный комплект тележки составляют упругий элемент и фрикционный гаситель колебаний, создающий силу сухого трения $F_{тр}$. При выполнении расчетов сухое трение заменено эквивалентным вязким из условия равенства энергий, рассеиваемой за период колебаний.

В соответствии с энергетическим методом Лагранжа, записав выражения кинетической и потенциальной энергий системы, а также функцию рассеяния Релея, и взяв соответствующие производные, получим математическую модель системы «вагон-путь», матричная форма записи которой имеет следующий вид:

$$M\ddot{\bar{q}}_j + B\dot{\bar{q}}_j + C\bar{q} = \bar{Q}_j, \quad (1)$$

где q_j – обобщенные координаты подпрыгивания, галопирования и подергивания узлов экипажа; M , B и C – матрицы инерционных, диссипативных и упругих коэффициентов системы, соответственно; $\bar{Q}_j$ – вектор обобщенных сил.

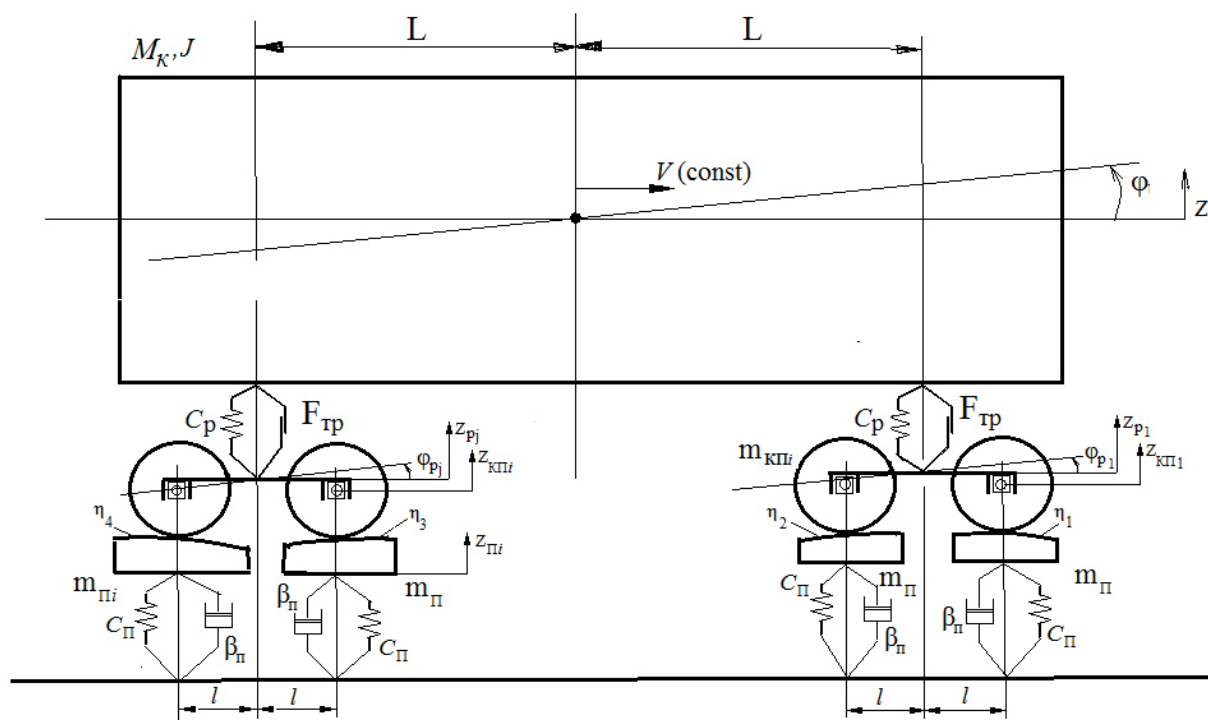


Рис. 1. Расчетная схема механической колебательной системы «вагон-путь» с тележкой 18-100

Для снижения необрессоренной массы, что способствует уменьшению воздействия на путь, во втором случае (рис. 2) принято обрессоривание буксовой ступени тележки с компенсирующим устройством, создающим при

колебаниях силу F_K , направленную встречно динамической реакции винтовых рессор.

В этом случае математическая модель будет отличаться от модели (2) тем, что в правых частях соответствующих уравнений, описывающих колебания узлов вагона, будут присутствовать компенсирующие силы F_K .

Возмущающее воздействие при движении подвижного состава со стороны пути выбиралось в соответствии с Руководящим документом ВНИИЖТ [4].

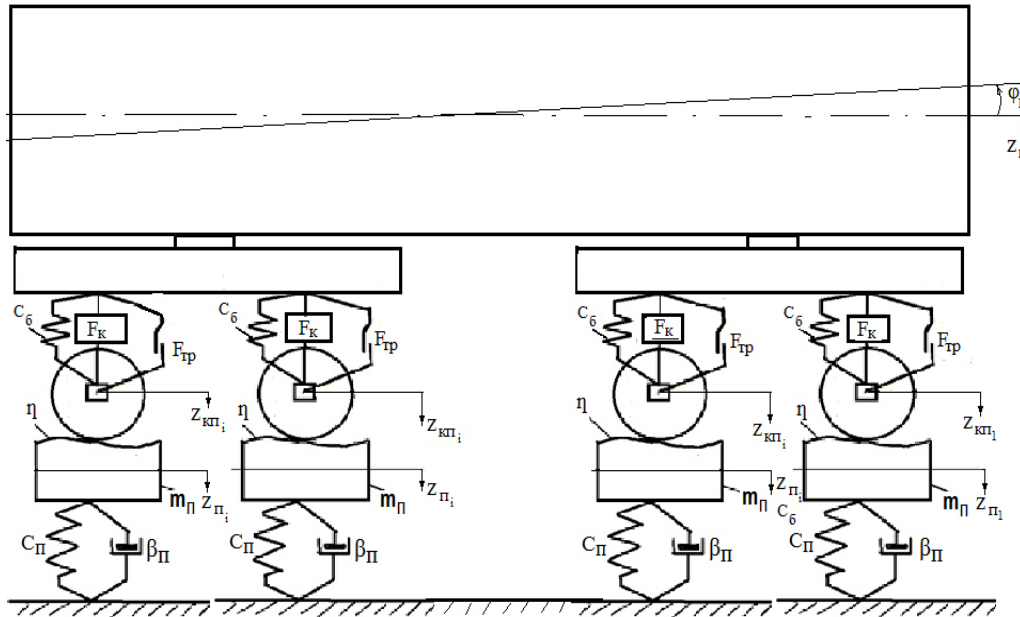


Рис. 2. Расчетная схема механической колебательной системы «вагон-путь» с компенсирующим устройством в рессорном подвешивании

Результаты численного интегрирования системы дифференциальных уравнений, (1), описывающих движение порожнего вагона в вертикальной плоскости его симметрии с типовой тележкой 18-100, приведены на рис. 3 – 5, которые показывают, что вагон, оснащенный тележкой с компенсирующими устройствами, по сравнению с типовым вагоном на тележках 18-100 обладает лучшими показателями динамических качеств. У такого вагона меньше амплитуды подпрыгивания кузова и его вертикальные ускорения, что повышает плавность хода.

Зависимость вертикальных колебаний подпрыгивания кузова от скорости движения порожнего вагона с тележкой, оснащенной компенсирующими устройствами, приведена на рис. 4.

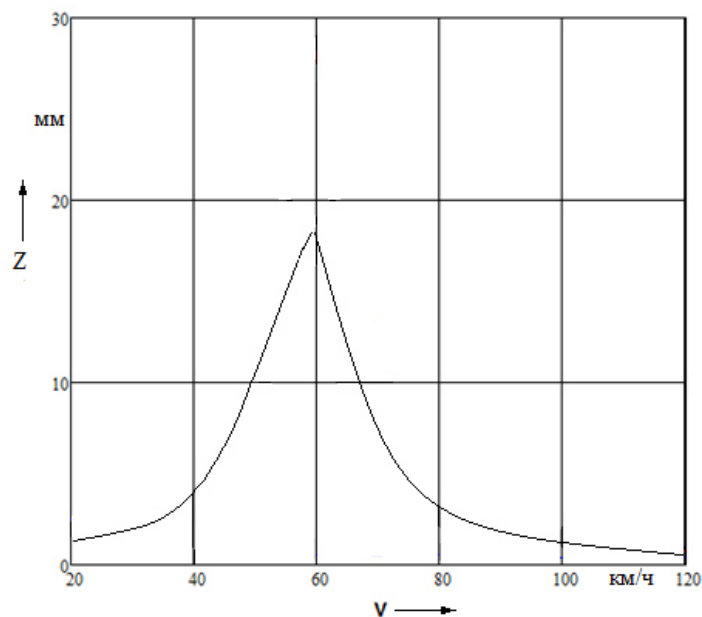


Рис. 3. Влияние скорости на амплитуду подпрыгивания порожнего вагона с типовой тележкой 18-100

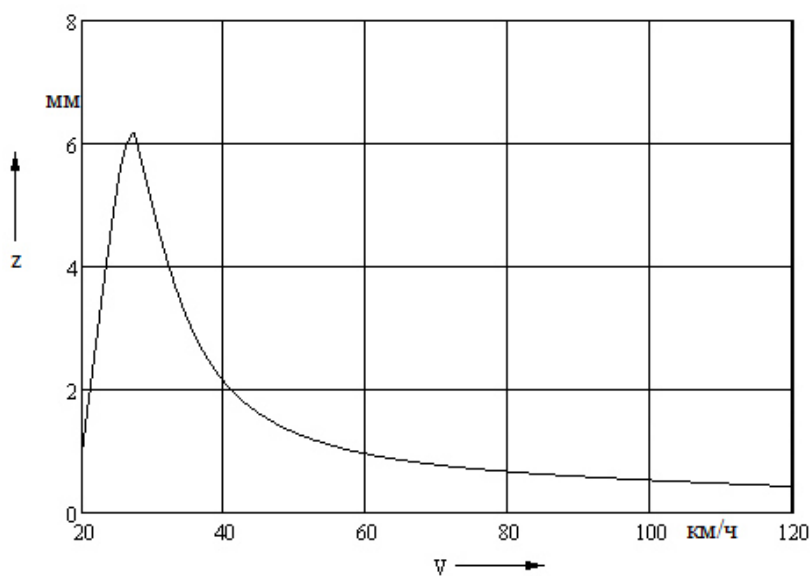


Рис. 4. Влияние скорости на амплитуду подпрыгивания порожнего вагона с тележкой, оснащенной компенсирующими устройствами

Зависимости ускорений подпрыгивания кузовов порожних вагонов с типовой и новой тележками приведены ниже на рис. 5.

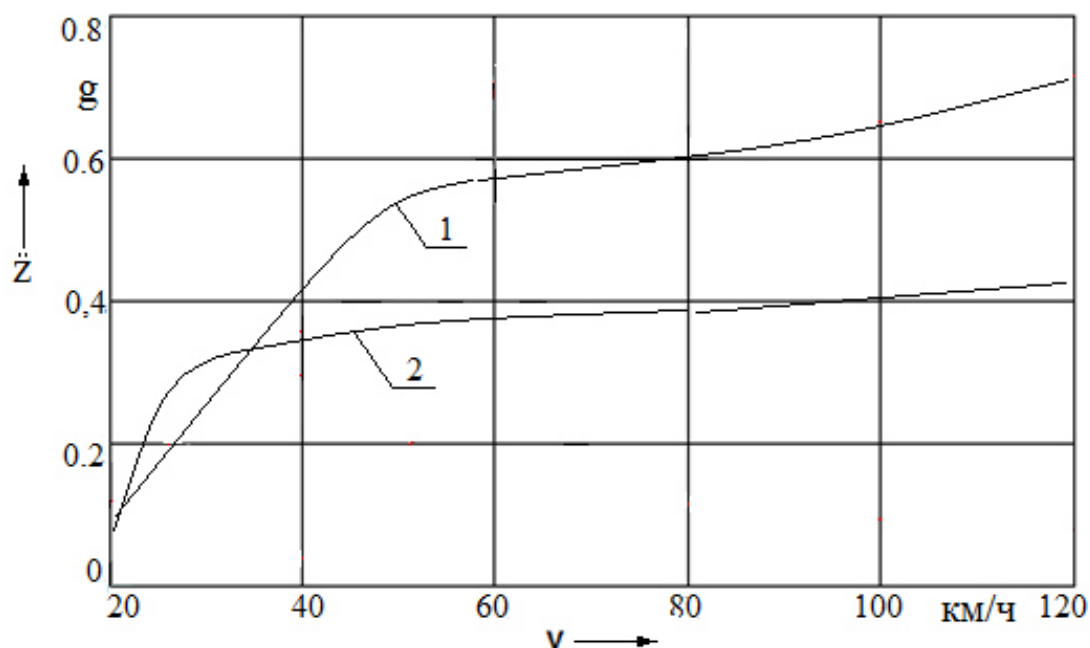


Рис. 5. Влияние скорости на ускорения подпрыгивания порожних вагонов с типовой тележкой (1), и тележкой, оснащенной компенсирующими устройствами (2)

Список литературы

1. Динамика вагона. / С. В. Вершинский и др. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
2. Гура, Г. С. Механика и трибология движения колесной пары в рельсовой колее. / Г. С. Гура – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. – 2013. – 526 с.
3. Методы и средства виброзащиты железнодорожных экипажей / И. И. Галиев и др. – М.: Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте. – 2010. – 340 с.
4. Руководящий документ РД 32.68–96. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. – М.: МПС, 1996. – 17с.

Д. Ю. Лукс

МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ТИПОВЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ ВАГОНОВ

Выполнен сравнительный анализ динамической нагруженности типовых вагонов с тележкой 18-100 и инновационных вагонов с тележкой Барбера. Установлены значительно лучшие динамические качества вагона с тележкой Барбера в порожнем режиме его движения.

Острая необходимость повышения эффективности эксплуатации подвижного состава Российских железных дорог влечет за собой увеличение скорости движения грузовых поездов, что приводит к увеличению динамической нагруженности узлов вагонов и появлению их неисправностей, приводящих к многочисленным отцепкам на пунктах технического осмотра.

В последние четыре года на сети дорог обращаются инновационные вагоны с тележкой «Barber S-2-R». В связи с этим необходимо дать сравнительную оценку показателей динамических качеств типового вагона с тележкой модели 18-100 и вагона, оснащенного тележкой «Barber S-2-R».

Показатели динамических качеств подвижного состава (плавность хода, влияющая на сохранность перевозимых грузов, динамические силы в рессорном подвешивании и др.), зависят от параметров рессорного подвешивания его ходовой части и от уровня возмущений, действующих со стороны пути на подвижной состав.

Для получения оценок динамических свойств механической колебательной системы «вагон-путь» необходимо:

- создание расчетной схемы, отображающей основные динамические свойства исследуемой модели;
- выбор возмущающего воздействия на вход этой системы;
- формирование методами аналитической механики математической модели процессов, возникающих при движении грузового вагона и ее исследование.

Комплект пружин центрального рессорного подвешивания тележки 18-100 грузовых вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс состоит из семи пар сдвоенных (внутренней и наружной) винтовых пружин равной высоты и статическими прогибами: в порожнем состоянии вагона – 8 мм; в груженом – 48 мм.

Вертикальная жесткость рессорного комплекта этой тележки равна 4 кН/м.

Конструктивное исполнение рессорного комплекта тележек «Barber» (модели 18-9810 и 18-9855) отличается от тележек 18-100. Это отличие, кроме количества разновысоких двойных пружин, заключается в том, что в тележке «Barber» нагружение пружин происходит последовательно: сначала упруго деформируются подклиновые внутренние; затем – подклиновые наружные; после этого – внутренние под наддрессорной балкой и, наконец – наружные под наддрессорной балкой. Вследствие этого силовая характеристика, построенная в результате проведенных экспериментальных измерений при участии автора в вагонном депо «Московка (ВРК-2), является кусочно-линейной (рис. 1, сплошная линия).

Силовая характеристика тележки 18-9855 имеет четыре линейных участка, на каждом из них эквивалентная жесткость которых определяется так:

Анализ литературных источников [1,2] показывает, что в исследованиях динамических свойств подвижного состава применяют в основном две модели пути: – дискретную, по которой характеристики пути учитываются в виде приведенных к колесу сосредоточенных масс, упругости и демпфирования, и континуальную, в которой путь моделируется балкой на сплошном упругом основании с распределенными массой и силой трения. Верхнее строение пути рассчитывают как балку бесконечной длины на сплошном упругом основании [3], поэтому и в динамических расчетах показателей качества экипажных частей вагонов при учете пути в виде континуальной модели представляется возможным выявить важные особенности колебательного процесса системы «колесо-рельс» по сравнению с дискретной моделью. Для амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) кузова результаты расчетов при дискретной и континуальной моделях пути практически совпадают (расхождение не превышает 10 – 12 %) [2], поэтому при расчете колебаний узлов грузового вагона и пути вполне допустимо использовать обычную дискретную модель

пути.

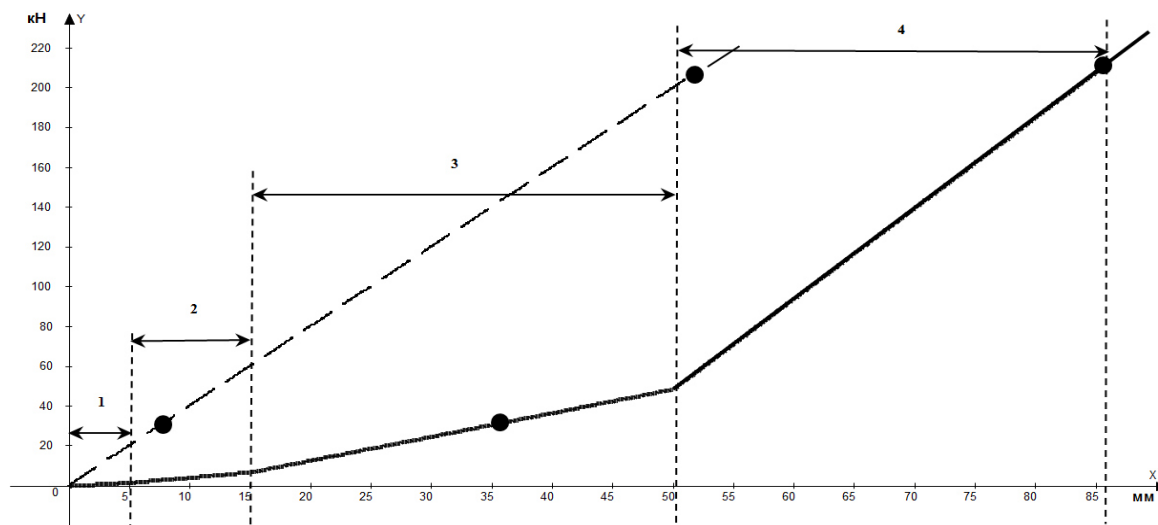


Рис. 1. Силовые характеристики одного рессорного комплекта тележки 18-9810 (сплошная линия) грузового вагона и тележки 18-100 (штриховая линия).

Для оценки влияния значений конструктивных параметров ходовой части грузового вагона на его динамическую нагруженность, обусловленную движением по неровностям пути, целесообразно ограничиться исследованием вертикальных колебаний экипажа, поскольку, как отмечено в работе [4], «проанализировать полученные результаты при численном интегрировании сложной пространственной модели колебаний такой системы трудно из-за взаимного влияния колебаний с различными частотами и фазами».

Составим расчетную схему механической колебательной системы «вагон-путь» в вертикальной продольной плоскости симметрии экипажа (рис. 2.1), на которой отмечены ее инерционные, жесткостные и диссипативные параметры, а также обобщенные координаты, описывающие движение отдельных узлов этой системы.

Будем полагать железнодорожный экипаж симметричным, а колебания – малыми. Заменим сухое трение, создаваемое клиновыми фрикционными гасителями колебаний, эквивалентным вязким, согласно методу, предложенному С.П. Тимошенко [3].

Кузов и все узлы тележки (надрессорные балки, боковые рамы и колесные пары) будем считать абсолютно твердыми телами. Массу

надрессорных балок трехэлементных тележек отнесем к массе кузова, так как рассматриваются только вертикальные колебания данной системы. Будем также считать, что перевалка кузова на подпятниках отсутствует.

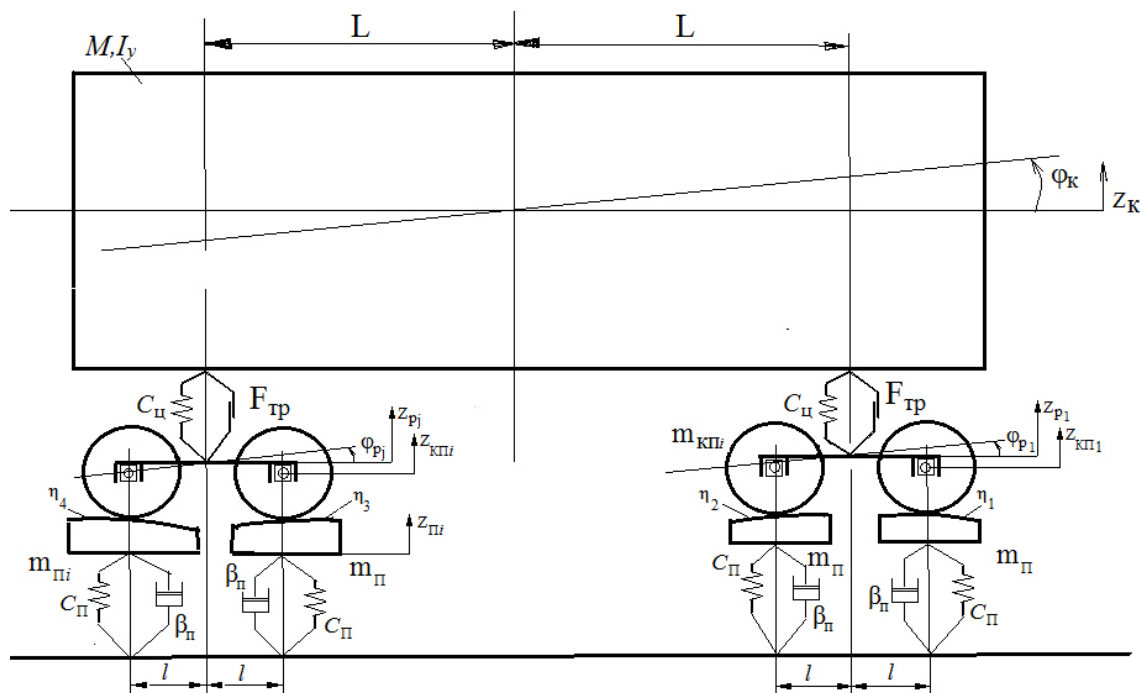


Рис. 2. Расчетная схема колебаний системы «вагон-путь»

Для формирования математической модели воспользуемся энергетическим алгоритмом Лагранжа [5].

Запишем кинетическую и потенциальную энергии системы, а также функцию рассеяния энергии в диссипативных элементах. Далее, руководствуясь алгоритмом Лагранжа, возьмем соответствующие производные и в результате получим математическую модель системы «вагон-путь», матричная форма записи которой имеет следующий вид:

$$M\ddot{q}_j + B\dot{q}_j + Cq = \bar{Q}_j, \quad (1)$$

где q_j – обобщенные координаты подпрыгивания, галопирования и подергивания узлов экипажа; M , B и C – матрицы инерционных, диссипативных и упругих коэффициентов системы, соответственно; $\bar{Q}_j$ – вектор обобщенных сил.

Зависимость коэффициента динамики (подпрыгивание кузова) порожнего вагона от скорости его движения приведена на рис. 3, из которого видно, что на скорости 68 км/ч наблюдается резонансный режим, угрожающий безопасности движения поезда.

На этот факт указывает также зависимость коэффициента динамики колесной пары от скорости движения порожнего вагона (рис. 4).

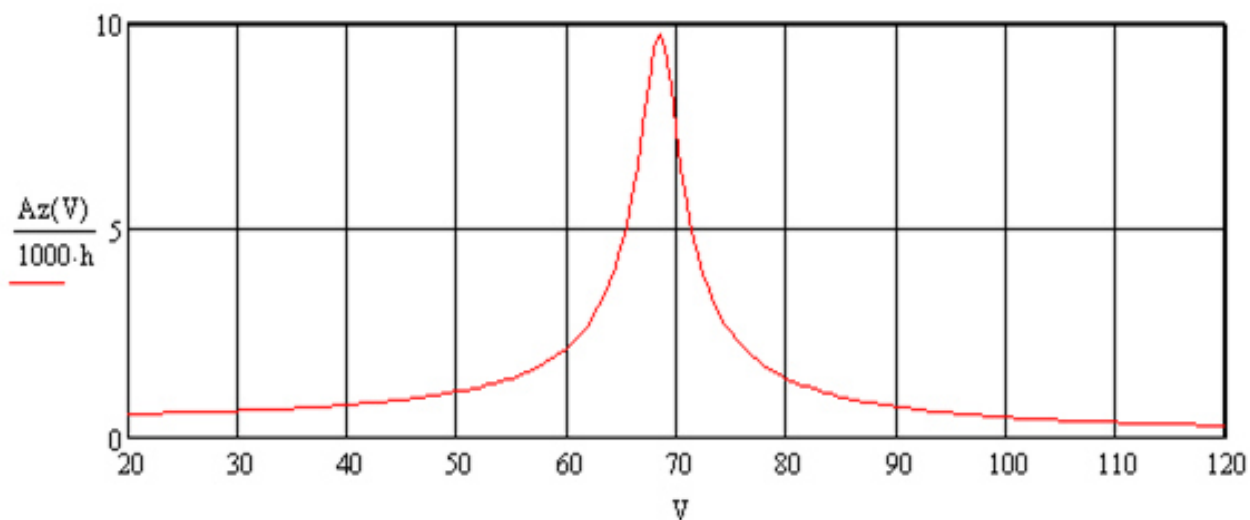


Рис. 3. Коэффициент динамики кузова порожнего вагона с тележкой 18-100

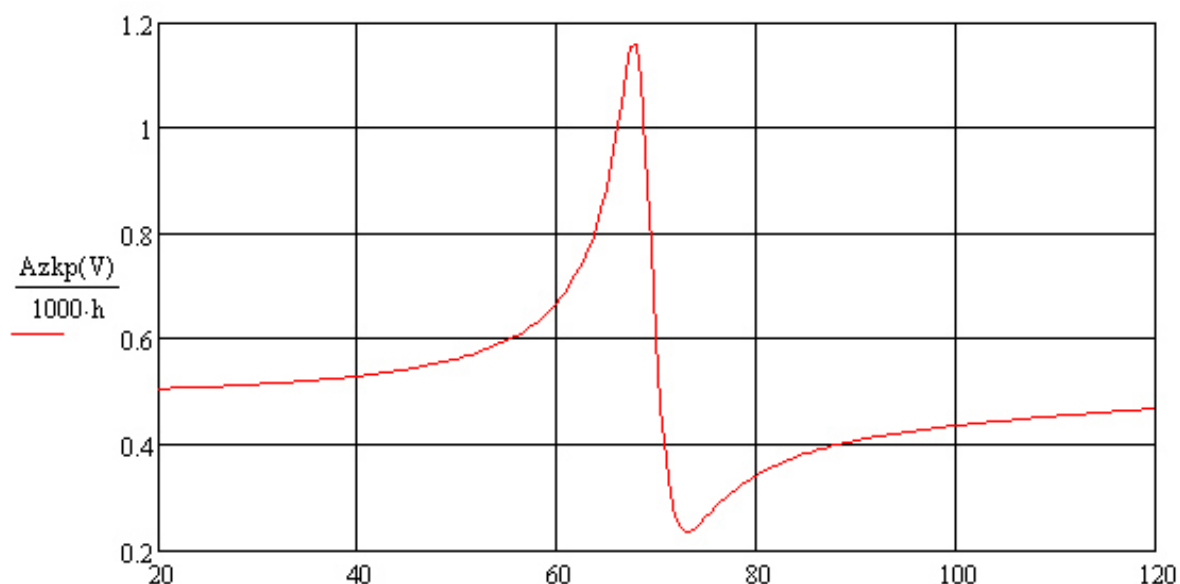


Рис. 4. Коэффициент динамики колесной пары порожнего вагона

Зависимость коэффициента динамики по подпрыгиванию кузова в грузежном режиме его движения приведена на рис. 5.

Зависимости коэффициентов динамики кузова вагона от скорости движения на тележках Барбера, в порожнем и грузежном режимах движения вагона приведены на рис. 6,а (порожний режим) и 6,б (грузежный режим).

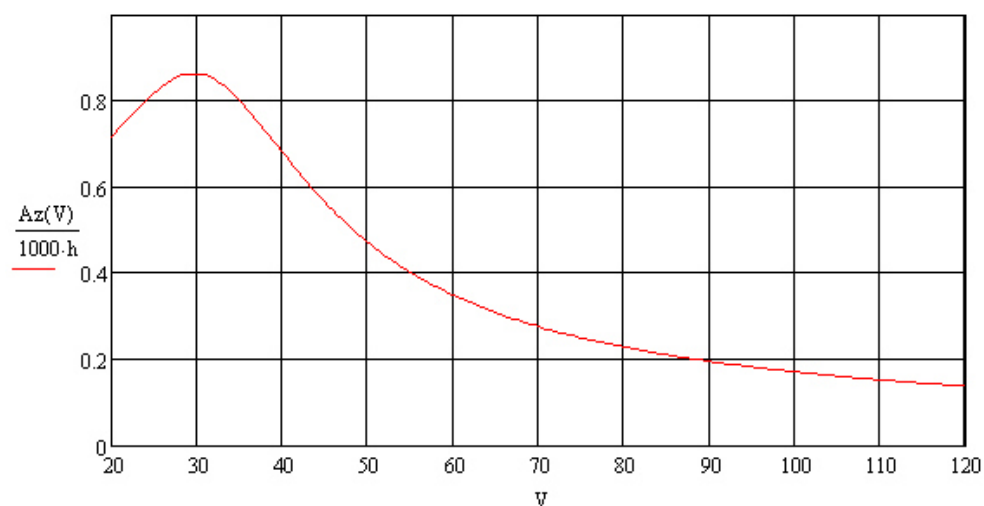


Рис. 5. Коэффициент динамики кузова груженого вагона

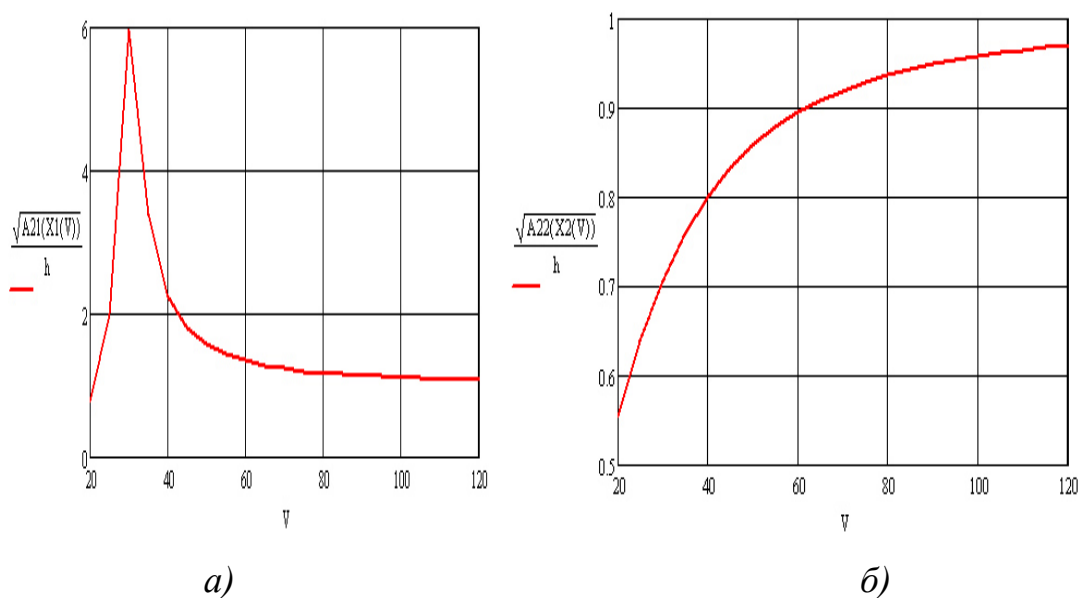


Рис. 6. Коэффициент динамики кузова вагона на тележках Барбера, б/р:
 а) порожний режим, б) гружёный режим

Сравнение полученных данных показывает, что вагон с тележкой Барбера обладает лучшими динамическими качествами. Так, в порожнем режиме движения резонанс типового вагона (на тележках 18-100) наблюдается на ходовой скорости 68 км/ч, что создает угрозу безопасности движения поезда из-за снижения давления колеса на рельс, что снижает устойчивость против вкатывания гребня колеса на головку рельса. Область резонанса вагона с тележкой Барбера приходится на режим разгона поезда (30 км/ч), что более благоприятно с точки зрения безопасности его движения.

Список литературы

1. Савоськин, А. Н. Об учете влияния характеристик пути на возмущения, вызывающие вертикальные колебания рельсовых экипажей / А. Н. Савоськин // Науч. труды МИИТа, 1970.– Вып. 329. – С. 14 – 33.
2. Камаев, В. А. Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава / В. А. Камаев. М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
3. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Уивер – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
4. Вершинский, С. В. Динамика вагона: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов // Под ред. С. В. Вершинского.– 3-е изд., перераб. доп.. М.: Транспорт, 1991. – С. 96.
5. Суслов, Г. К. Основы аналитической механики / Г. К. Суслов – М.: Гостехиздат, 1944. – 655 с.

УДК 629.42:629.4.054, 625.28

О. С. Абляимов, З. З. Ергашев, М. И. Хисматулин

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ UzTE16M3 НА УЧАСТКЕ МАРОКАНД – КАТТАКУРГАН В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Представлены результаты исследований по оценке топливно - энергетической эффективности использования тепловозов UzTE16M3 на участке Мароканд – Каттакурган узбекской железной дороги при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах.

Для анализа топливно - энергетической эффективности магистральных (поездных) грузовых локомотивов дизельной тяги в различных условиях эксплуатации можно и нужно использовать кинематические параметры движения грузовых поездов и параметры их энергоёмкости в виде количественных и стоимостных значений расходов натурального дизельного топлива на тягу поездов.

Результаты настоящих исследований, являющихся логическим продолжением исследований [1,2], послужат базовой составляющей для дальнейшей оценки эффективности использования дизельного (тепловозного) локомотивного парка АО «Ўзбекистон темир йўллари» в разнообразных условиях организации эксплуатационной работы узбекских железных дорог при перевозке разных по содержанию и структуре грузов.

Из анализа данных [3] вытекает, что около 16,0 процентов всех секций эксплуатируемого локомотивного парка железнодорожной отрасли Узбекистана приходится на грузовые тепловозы серии UzTE16M в различном секционном исполнении.

Настоящие исследования проведены с целью обоснования кинематических параметров движения грузовых поездов и параметров топливно - энергетической эффективности использования магистральных (поездных) грузовых тепловозов серии UzTE16M на одном из реальных участков железной дороги АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Поставленной целью исследований реализовывалась выполнение серии тяговых расчётов, опираясь на исходные данные [4] и рекомендации теории локомотивной тяги [5].

Объект исследования составили трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые тепловозы серии UzTE16M3 и спрямлённый профиль пути участка Мароканд – Каттакурган Узбекской железной дороги, состоящий из трёх железнодорожных перегонов – Мароканд – Джума, Джума – Нурбулак и Нурбулак – Каттакурган.

Предмет исследования - основные показатели перевозочной работы и параметры топливно - энергетической эффективности использования упомянутых тепловозов в количественном и денежном исчислении на заданном, реальном, участке АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Методика исследования по аналогии с [1,2] предусматривала вождение грузовых поездов различной массы составов и одинаковым количеством осей в них, которое реализовывалось исследуемыми тепловозами UzTE16M3 без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

В табл. 1 приведены кинематические параметры движения грузовых поездов и параметры топливно - энергетической эффективности использования

магистральных (поездных) грузовых тепловозов серии UzTE16M3 на участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Таблица 1

Показатели перевозочной работы тепловозов UzTE16M3 на участке
Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари»

Условия перевозочной работы			Время хода поезда, мин			Расход дизельного топлива			Затраты денежных средств	
масса состава $Q \times 10^{-3}$, т	число осей m , осей	техническая скорость движения V_t , км/ч	общее, t_x	в режиме тяги, t_t	в режиме холостого хода и торможения, $t_{xx,t}$	общий за поездку E , кг	удельный			
							натурного топлива e , кг/10 ⁴ ткм	условного топлива e_y , кг/10 ⁴ ткм	полные C_t , тыс. сўм	удельные C_t , тыс. сўм/км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Движение по перегонам участка без остановок, $L = 61,75$ км (61,765 км)										
2,50	200	73,09	50,70	13,10	37,60	322,66	20,90	29,88	571,25	9,249
3,00	200	72,03	51,45	13,75	37,70	337,45	18,21	26,04	597,44	9,673
3,50	200	71,75	51,65	15,00	36,65	364,83	16,87	24,13	645,91	10,457
Средние значения		72,29	51,27	13,95	37,32	341,65	18,66	26,68	604,87	9,793
Движение по перегонам участка с остановками, $L = 61,75$ км (61,765 км)										
2,50	200	65,04	57,90	17,85	40,05	431,93	27,97	40,00	764,71	12,381
3,00	200	62,28	59,50	18,95	40,55	457,20	24,67	35,28	809,45	13,105
3,50	200	61,61	60,15	20,35	39,80	488,39	22,59	32,31	864,67	14,000
Средние значения		62,98	59,18	19,05	40,13	459,17	25,08	35,86	812,94	13,162
По обоим видам движения на участке Мароканд – Каттакурган										
Средние значения		67,63	55,22	16,50	38,72	400,41	21,87	31,27	708,90	11,477

Анализ средних значений основных показателей перевозочной работы исследуемых тепловозов *UzTE16M3* по видам движения показывает, что движение грузовых поездов, организованное упомянутыми тепловозами с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах

участка Мароканд – Каттакурган по отношению к аналогичному движению без остановок на последних, способствует:

- увеличению общего времени хода поезда на 7,91 мин при среднем расчётном времени на одну остановку приблизительно в 2,64 мин и уменьшению технической скорости движения на 9,31 км/ч;
- значениям долей движения на режимах тяги в 32,19 процента, а холостого хода и торможения в 67,81 процента;
- увеличению значения доли движения в режиме тяги и её уменьшению в режиме холостого хода и торможения, соответственно, на 4,98 процента;
- увеличению общего (полного) и удельного расходов натурального дизельного топлива на тягу поездов за поездку, соответственно, в среднем, приблизительно на 34,99 и 34,41 процента;
- увеличению общего (полного) и удельного расходов натурального дизельного топлива на одну остановку, соответственно, приблизительно на 39,17 кг и 2,14 кг / 10^4 т км брутто;
- увеличению удельного расхода условного дизельного топлива на тягу поездов за поездку, в среднем, приблизительно на 34,41 процента;
- увеличению удельного расхода условного дизельного топлива на одну остановку, приблизительно на 3,06 кг / 10^4 т км брутто;
- повышению полных и приведённых удельных денежных затрат, соответственно, на 208,07 тыс. сўм (или 34,40 процента) и на 3,369 тыс. сўм / км (или 34,40 процента).

Графические зависимости кинематических параметров движения грузовых поездов унифицированной массы состава ($Q_2 = 3000$ т, $m = 200$ осей) и параметров показателей энергетической эффективности исследуемых тепловозов UzTE16M3 на участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари» для обоих (двух) видов движения с учётом данных [4], соответственно, представлены на рис. 1 и рис. 2. Каждый из перегонов вышеупомянутого участка по оси абсцисс имеет такое условное обозначение: 1 - Мароканд - Джума; 2 - Джума - Нурбулак; 3 - Нурбулак - Каттакурган.

Также, на рис. 1 приняты следующие обозначения: техническая скорость движения, соответственно, без остановок V и с остановками V' ; время хода поезда без остановок и с остановками, соответственно, общее по перегонам участка $t_{п}$, $t'_{п}$, в режиме тяги $t_{т}$, $t'_{т}$, в режиме холостого хода и

торможения $t_{xx,T}$, $t'_{xx,T}$. а на рис. 2 приняты такие обозначения: расход натурального дизельного топлива за поездку без остановок и с остановками, соответственно, общий (полный) E , E' и удельный e , e' ; затраты денежных средств, соответственно, без остановок c_T и с остановками c'_T на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах.

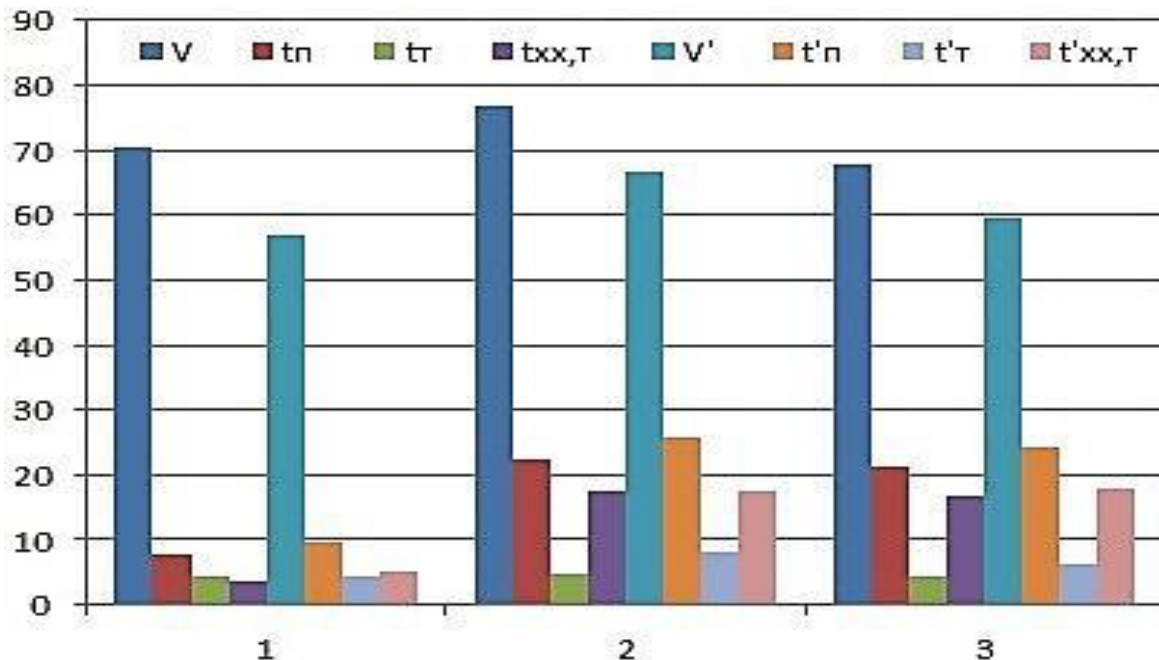


Рис. 1. Кинематические параметры движения грузовых поездов на участке Мароканд – Каттакурган

Результаты исследований с учётом динамики параметров основных показателей перевозочной работы магистральных (поездных) тепловозов UzTE16M3 в зависимости от изменения массы состава грузовых поездов при движении их с остановками и без остановок на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах показали следующее:

- уменьшение количества натурального дизельного топлива, израсходованного за поездку, связано с уменьшением времени работы силовой энергетической установки магистральных тепловозов под нагрузкой и увеличением времени движения грузового поезда на режимах холостого хода, торможения, а как следствие, это приводит к уменьшению величины механической работы сил, действующих на упомянутый поезд в режиме тяги;

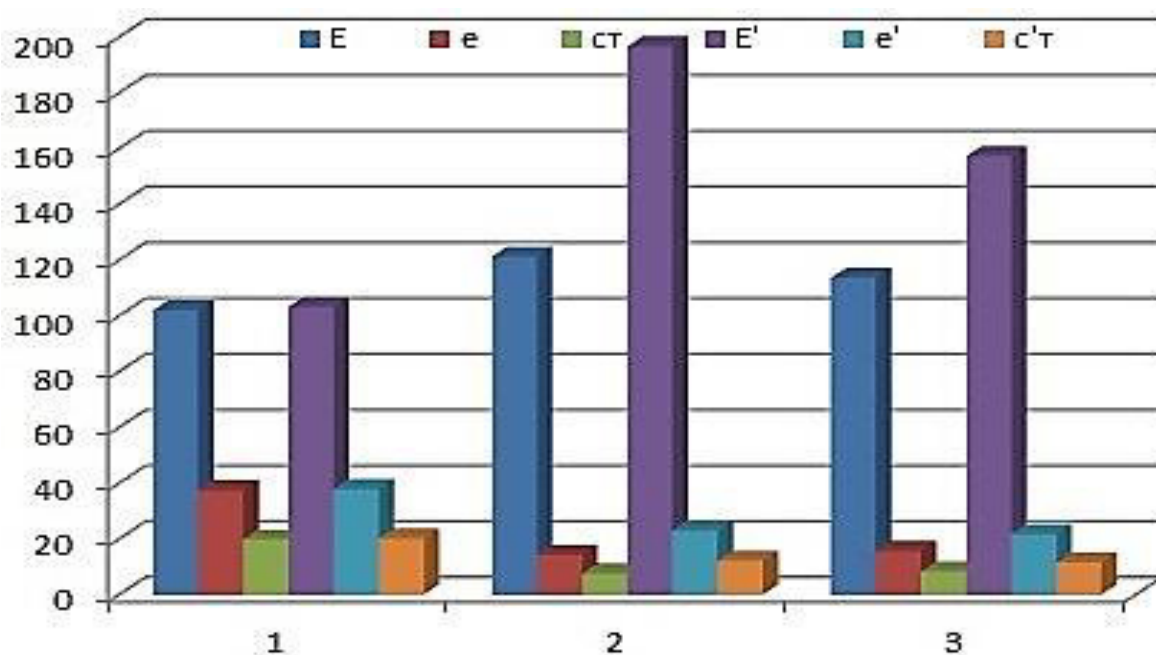


Рис. 2. Параметры энергоёмкости исследуемых тепловозов UzTE16M3 на участке Мароканд – Каттакурган

- с увеличением массы состава и времени работы силовых энергетических установок грузовых тепловозов на режимах тяги увеличивается количество израсходованного ими натурального дизельного топлива на тягу поездов;

- для исследуемой серии тепловозов каждое увеличение массы состава грузовых поездов приводит не только к повышению полной и удельной стоимостей железнодорожных перевозок в грузовом движении, но и способствует снижению удельного расхода натурального (и условного) дизельного топлива на тягу поездов;

- повышение топливно – энергетической эффективности исследуемой серии тепловозов связано не только с увеличением объёма пропускной и провозной способности участков железных дорог, но и с использованием в режиме тяги позиций контроллера машиниста наилучших (оптимальных) по коэффициенту полезного действия силовой цепи локомотива в сочетании с режимами холостого хода и торможения.

Результаты исследований могут быть использованы не только специалистами цеха эксплуатации локомотивных депо Бухара и Карши, но и специалистами других структурных предприятий локомотивного комплекса АО «Ўзбекистон темир йўллари», работа которых напрямую связана с

нормированием и прогнозированием расхода натурального дизельного топлива на тягу поездов, и организацией железнодорожных перевозок грузов.

Список литературы

1. Абляимов, О. С. К анализу эксплуатации тепловозов UzTE16M3 на участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Научно – технический журнал «Вестник транспорта Поволжья» / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2017. № 3 (63) – С. 16 – 22.
2. Абляимов, О. С. К эксплуатации тепловозов UzTE16M3 на участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Материалы второй международной науч. – практ. конф. «Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – С. 112 – 119.
3. Абляимов, О. С. Анализ эффективности использования локомотивной тяги на равнинном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов // Научно – технический журнал «Известия Транссиба» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2015. № 4 (24). – С. 2 – 9.
4. Абляимов, О. С. Исследование эксплуатации тепловозов UzTE16M3 на холмисто – горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Научно – технический журнал «Вестник транспорта Поволжья» / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2016. № 3 (57) – С. 16 – 22.
5. Кузьмич, В. Д. Теория локомотивной тяги [Текст] / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель // Учебник для вузов железнодорожного транспорта. – М.: Маршрут, 2005. - 448 с.

О. С. Аблялимов, З. З. Ергашев, М. И. Хисматулин

О ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ 3ВЛ80^С НА УЧАСТКЕ МАРОКАНД – КАТТАКУРГАН АО «ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ»

Представлены результаты исследований по оценке энергетической эффективности использования электровозов 3ВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган узбекской железной дороги при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах в виде табличных данных и графических зависимостей.

Изучение тягово-энергетической эффективности использования магистральных (поездных) грузовых локомотивов электрической тяги с учётом организации безопасности движения поездов для направления Самарканд – Навои – Бухара и на участке Мароканд – Каттакурган, в частности, является весьма важной и актуальной задачей современной железнодорожной транспортной политики АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Из рис. 1 следует, что электровозный парк АО «Ўзбекистон темир йўллари» насчитывает свыше сто восемьдесят секций локомотивов электрической тяги, приблизительно семьдесят процентов из которых приходится на грузовые электровозы ВЛ80^С в различном секционном исполнении, а доля участия их в железнодорожных перевозках грузов различных по составу и содержанию составляет более пятидесяти девяти процентов [1].

Настоящие исследования проводятся параллельно с [2,3] для обоснования кинематических параметров движения грузовых поездов и параметров тягово - энергетической эффективности использования магистральных (поездных) грузовых электровозов серии 3ВЛ80^С на одном из реальных участков Узбекской железной дороги.

Поставленной целью исследований реализуется выполнением серии тяговых расчётов с учётом исходных данных [4] и рекомендаций теории локомотивной тяги [5].

Объект исследования составили трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые электровозы серии 3ВЛ80^С и спрямлённый профиль пути

участка Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари», включающий следующие три железнодорожных перегона: Мароканд – Джума, Джума – Нурбулак и Нурбулак – Каттакурган.

Предметом исследования являются основные показатели перевозочной работы и параметры тягово - энергетической эффективности использования упомянутых электровозов в количественном и денежном исчислении на заданном, реальном, участке Узбекской железной дороги.

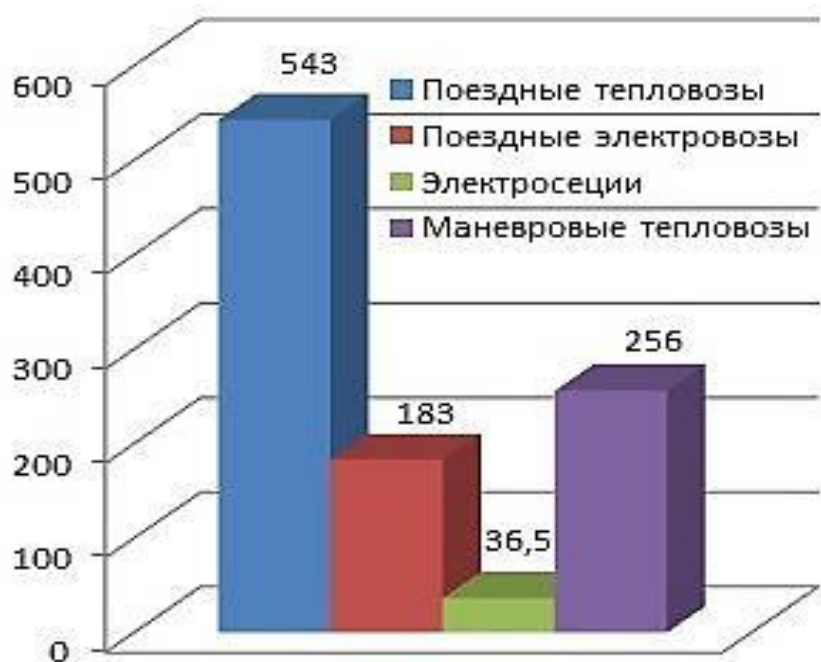


Рис. 1. Локомотивный парк АО «Ўзбекистон темир йўллари» в секционном исчислении: дизельная тяга – тепловозы поездные и маневровые; электрическая тяга – электровозы поездные и электрические секции

Методика исследования аналогична [2,3] и рассматривает движение грузовых поездов различной массы составов в диапазоне от $Q_1 = 2500$ т до $Q_3 = 3500$ т при постоянном числе осей в составе равном $m = 200$ осей, которое реализуют трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые электровозы 3ВЛ80^С без остановок и с остановками на перегонах участка Мароканд – Каттакурган.

В табл. 1 приведены кинематические параметры движения грузовых поездов и энергетические параметры основных показателей перевозочной работы магистральных (поездных) грузовых электровозов серии 3ВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари». Здесь и

далее (на рис. 2) индексом звёздочка * обозначены полные и удельные затраты денежных средств (стоимость электрической энергии) с учётом налога на добавленную стоимость (НДС).

Таблица 1

Основные показатели перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С
на участке Мароканд – Каттакурган Узбекской железной дороги

Перевозочная работа			Время хода поезда, мин			Расход электрической энергии и затраты денежных средств			
масса состава Q , т	число осей m , осей	техническая скорость движения, V_t , км/ч	общее t_x	в режиме тяги t_T	в режиме холостого хода и торможения $t_{хх,т}$	общий A , кВт – ч	удельный a , Вт-ч/т км брутто	полные C_z , тыс. сўм	удельные c_z , тыс. сўм/км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Движение по перегонам участка без остановок, $L = 61,75$ км (61,765 км)									
2500	200	77,06	47,75	7,35	40,40	1278,62	8,34	111,291 133,175*	1,815 2,171*
3000	200	75,64	48,65	8,60	40,05	1347,46	7,32	117,283 140,675*	1,912 2,294*
3500	200	74,19	49,60	9,80	39,80	1434,66	6,68	124,873 149,778*	2,036 2,442*
Средние значения		75,63	48,67	8,58	40,09	1353,58	7,45	117,816 141,209*	1,921 2,302*
Движение по перегонам участка с остановками, $L = 61,75$ км (61,765 км)									
2500	200	69,62	52,85	9,50	43,35	1736,43	11,32	151,139 181,283*	2,464 2,956*
3000	200	69,30	53,10	10,05	43,05	1824,53	9,92	158,807 190,481*	2,589 3,106*
3500	200	68,87	53,45	10,90	42,55	1948,12	9,07	169,564 203,383*	2,765 3,316*
Средние значения		69,26	53,13	10,15	42,98	1836,36	10,10	159,837 191,716*	2,606 3,126*
По двум видам движения на участке Мароканд – Каттакурган									
Средние значения		72,45	50,90	9,36	41,54	1595,30	8,77	138,826 166,462*	2,263 2,714*

Анализ данных табл. 1 для средних значений основных показателей перевозочной работы исследуемых электровозов ЗВЛ80^С по видам движения

свидетельствует, что движение грузовых поездов, организованное упомянутыми электровозами без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах участка Мароканд – Каттакурган по отношению к аналогичному движению с остановками на них, обеспечивает:

- уменьшение общего времени хода поезда на 4,46 мин при среднем расчётном времени на одну остановку приблизительно в 1,49 мин и увеличение технической скорости движения на 6,37 км/ч;

- значения долей движения на режимах тяги в 17,63 процента, а холостого хода и торможения в 82,37 процента;

- уменьшение значения доли движения в режимах тяги и увеличение этого значения в режиме холостого хода и торможения, приблизительно, на 1,47 процента;

- уменьшение общего (полного) и удельного расходов электрической энергии на тягу поездов за поездку, соответственно, в среднем, приблизительно на 26,29 и 26,24 процента;

- уменьшение общего (полного) и удельного расходов электрической энергии на одну остановку, соответственно, в среднем, приблизительно на 160,93 кВт - ч и 0,883 Вт-ч / т км брутто;

- уменьшение полных и приведённых удельных денежных затрат, соответственно, на 42,021 тыс. сўм (или 26,29 процента) и 0,685 тыс. сўм / км (или 26,28 процента) – без учёта НДС. С учётом НДС аналогичные увеличения составят, соответственно, 50,507 тыс. сўм (или 26,34 процента) и 0,824 тыс. сўм / км (или 26,36 процента).

Опираясь на данные [6], на рис. 2 и рис. 3 представлены, соответственно, графические зависимости кинематических параметров движения грузовых поездов унифицированной массы состава ($Q_2 = 3000\text{т}$, $m = 200$ осей) и параметров показателей энергетической эффективности исследуемых электровозов ЗВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари» для обоих (двух) видов движения. Здесь каждый перегон упомянутого выше участка по оси абсцисс имеет своё условное обозначение: 1 - Мароканд - Джума; 2 - Джума - Нурбулак; 3 - Нурбулак - Каттакурган.

Помимо этого, на рис. 2 обозначено: техническая скорость движения, соответственно, без остановок V и с остановками V' ; время хода поезда без остановок и с остановками, соответственно, общее по перегонам участка $t_{\text{п}}$, $t'_{\text{п}}$, в

режиме тяги t_T , t'_T , в режиме холостого хода и торможения $t_{xx,T}$, $t'_{xx,T}$, а на рис. 3 приняты такие условные обозначения: расход электрической энергии за поездку без остановок и с остановками, соответственно, общий (полный) A , A' и удельный a , a' ; затраты денежных средств, соответственно, без остановок c_3 , c_3^* и с остановками c'_3 , c'_3^* на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах. Для лучшего изображения на рис. 3 характера изменения величины удельного расхода электрической энергии a , a' и затрат денежных средств c_3 , c_3^* и c'_3 , c'_3^* их значения были увеличены, соответственно, в десять и сто раз.

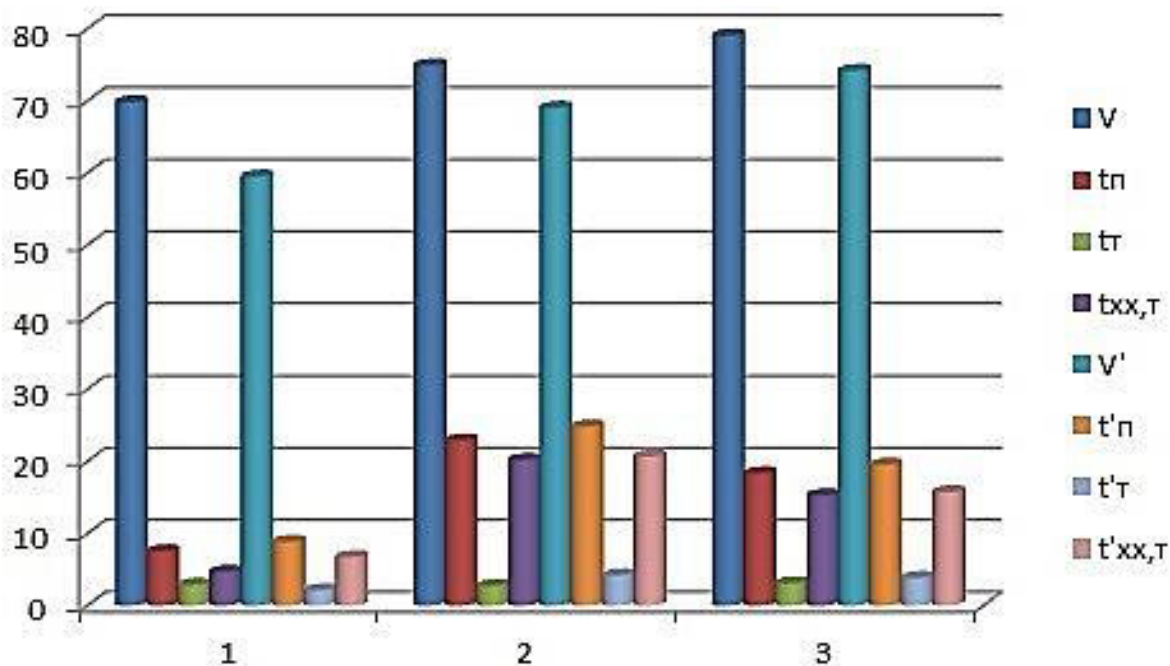


Рис. 2. Кинематические параметры движения грузовых поездов унифицированной массы составов на участке Мароканд – Каттакурган

Результатами исследования с учётом динамики параметров основных показателей перевозочной работы магистральных (поездных) электровозов ЗВЛ80^С и массы состава грузовых поездов при движении их без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах установлено следующее:

- увеличение израсходованной за поездку электрической энергии связано с увеличением времени работы силовой тягово - энергетической установки магистральных электровозов под нагрузкой и уменьшением времени движения грузового поезда на режимах холостого хода и торможения, в результате это приводит к увеличению механической работы сил, действующих на упомянутый поезд в режиме тяги;

- уменьшение массы состава и времени использования силовой тягово - энергетической установки грузовых электровозов в режиме тяги приводит к снижению израсходованного ими количества электрической энергии на тягу поездов;

- каждое уменьшение массы состава грузовых поездов обеспечивает снижение полной и удельной стоимостей железнодорожных перевозок в грузовом движении для исследуемой серии электровозов и способствует повышению удельного расхода электрической энергии на тягу поездов;

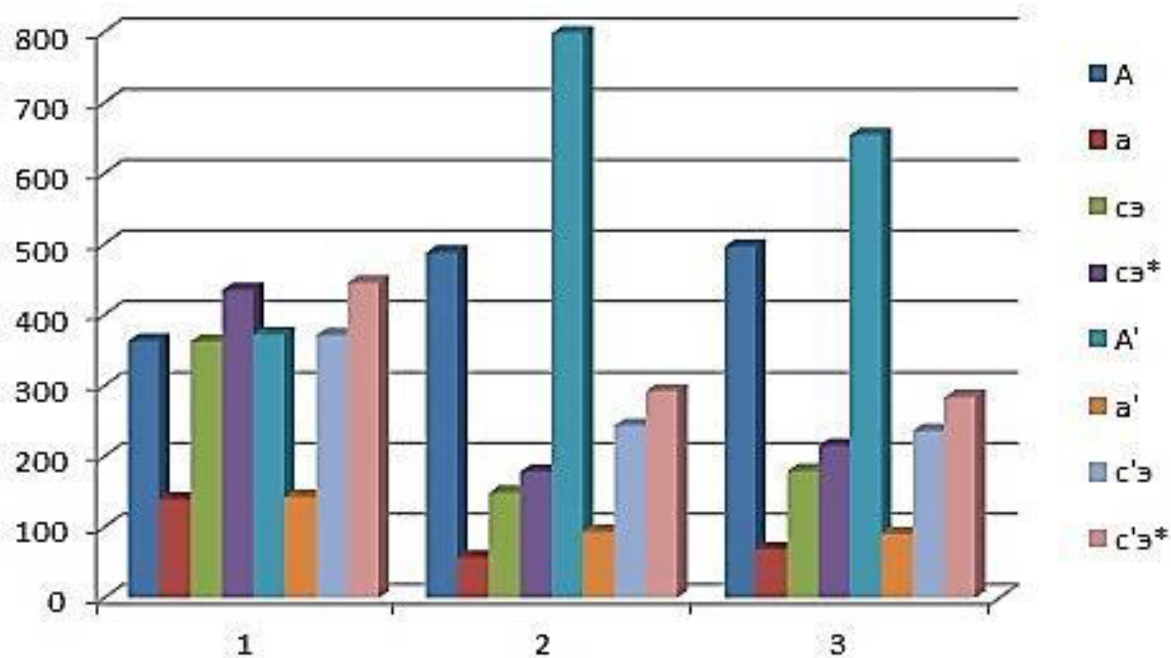


Рис. 3. Параметры энергоёмкости исследуемых электровозов 3ВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган

Таким образом, установлено влияние условий организации железнодорожных перевозок грузов на кинематические параметры движения грузовых поездов и показатели энергоёмкости локомотивов в количественном и денежном исчислении, которыми, в свою очередь, можно обосновывать тягово-энергетическую эффективность использования магистральных (поездных) грузовых электровозов 3ВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган и других, идентичным ему, участках узбекских железных дорог. Помимо этого, повышение эффективности исследуемой серии электровозов существенно зависит не только от увеличения производительности (пропускная и провозная способности) участков железных дорог, но и от работы их силовых тягово –

энергетических систем в режиме тяги на оптимальных (наилучших) позициях контроллера машиниста с учётом режимов холостого хода и торможения.

Список литературы

1. Абляимов, О. С. Исследование перевозочной работы электровозов 3ВЛ80^С на холмисто – горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Научно – технический журнал «Вестник транспорта Поволжья» / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2016. № 5 (59) – С. 16 – 22.

2. Абляимов, О. С. К эксплуатации электровозов 3ВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Материалы второй международной науч. – практ. конф. «Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – С. 119 – 126.

3. Абляимов, О. С. Оценка эксплуатации электровозов 3ВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Научно – технический журнал «Вестник транспорта Поволжья» / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2017. № 4 (64) – С. 16 – 22.

4. Абляимов, О. С. К исследованию эксплуатации электровозов на холмисто – горном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, А. П. Воҳидов, И. Р. Омонов // I-я Международная научно-практическая конференция «Локомотивы. Газомоторное топливо. (Проблемы. Решения. Перспективы)» / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2016. – С. 52 – 57.

5. Кузьмич, В. Д. Теория локомотивной тяги [Текст] / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель // Учебник для вузов железнодорожного транспорта. – М.: Маршрут, 2005. - 448 с.

6. Абляимов, О. С. Анализ перевозочной работы электровозов 3ВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган в условиях эксплуатации [Текст] / О. С. Абляимов // Журнал «Автоматика на транспорте» / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – Санкт-Петербург, 2017. Т. 3, № 2 – С. 47 – 65.

С. Г. Шорохов, Д. Я. Антипин

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ЛОКОМОТИВА ПРИ АВАРИЙНОМ СОУДАРЕНИИ С ПРЕПЯТСТВИЕМ

Проведена оценка динамической нагруженности кузова отечественного пассажирского локомотива при аварийном соударении с препятствием. На основе разработанных твердотельных компьютерных моделей соударения выполнено имитационное моделирование аварийных ситуаций и получены графики распределения максимальных сжимающих усилий, действующих в конструкциях подвижного состава при соударениях.

Ежегодно на железных дорогах России происходят случаи аварийных соударений пассажирских поездов с препятствиями на пути. По статистике наиболее часто такими препятствиями являются автомобили на железнодорожном переезде, проезжающие его на запрещающее показание светофора или остановившиеся вследствие неисправности. Подобные случаи отражают до 90% всех случаев аварийных соударений на отечественном железнодорожном транспорте.

В зависимости от характера развития аварийной ситуации железнодорожный подвижной состав получает различные повреждения – от незначительных пластических деформаций, не влияющих на общую несущую способность, до разрушения с необходимостью исключения подвижного состава из инвентарного парка. Проведенные исследования [1-7] показывают, что наибольшие динамические усилия воздействуют на локомотив, воспринимающий наибольшую часть кинетической энергии соударения.

В целях обеспечения безопасности локомотивной бригады при аварийных соударениях поездов с препятствиями ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» и ОАО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» по инициативе ОАО «Российские железные дороги» разработан и принят межгосударственный стандарт ГОСТ 32410-2013 «Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и

методы контроля» [8], регламентирующий пассивную безопасность отечественного пассажирского железнодорожного подвижного состава. Данный стандарт определяет наиболее вероятные сценарии развития аварийной ситуации при соударении подвижного состава с конструкционной скоростью не более 160 км/ч: сценарий 1 – аварийное столкновение на железнодорожном переезде с автомобилем (или другой машиной) массой 10 т со скоростью 72 км/ч (рис. 1); сценарий 2 – аварийное столкновение с грузовым вагоном массой 80 т со скоростью 36 км/ч (рис. 2).



Рис. 1. Схема аварийного столкновения по сценарию 1



Рис. 2. Схема аварийного столкновения по сценарию 2

В сценарии столкновения локомотив участвует как самостоятельная единица подвижного состава, а также в эталонном составе поезда из сцепленных локомотива и одного жесткого вагона массой 80 т с установленным автосцепным устройством по ГОСТ 3475, контуром зацепления по ГОСТ 21447, поглощающим аппаратом класса Т1 энергоёмкостью 70 кДж при полном ударном сжатии 120 мм. Термин «жесткий вагон» обозначает расчетную модель вагона, рассматриваемую как абсолютно твердое тело, деформациями которого при расчетном анализе процессов аварийного столкновения пренебрегают [8].

Оценка динамической нагруженности локомотива при аварийных соударениях с препятствиями проводится методами компьютерного моделирования в твердотельной постановке средствами промышленного программного комплекса моделирования кинематики и динамики систем тел «Универсальный механизм» [9]. Для этого разработаны компьютерные модели соударения в соответствии с требованиями расчетных сценариев [8]. Для построения моделей использованы исходные данные о геометрических,

инерционных и силовых характеристиках элементов конструкций локомотива, вагонов и препятствия.

В расчетной схеме железнодорожный подвижной состав и препятствие представляются в виде совокупности систем связанных твердых тел, описывающих их пространственные колебания.

Компьютерная модель грузового вагона состоит из модели кузова, представленного абсолютно твердым телом с реальными геометрическими и инерциальными характеристиками, обладающим шестью степенями свободы, соединенного с двумя моделями подсистем «тележка». Детальная проработка подсистем позволяет учесть силы взаимодействия кузова вагона с тележками, элементов тележек между собой и рельсовым путем. Соединение элементов подсистемы между собой осуществляется силовыми элементами и шарнирами. Для соединения модели вагона с моделью локомотива в расчетную схему грузового вагона введена компьютерная модель автосцепного устройства в виде системы абсолютно твердых тел, взаимодействующих посредством вращательных шарниров и контактных элементов.

Компьютерная модель локомотива аналогична модели вагона и представляется совокупностью абсолютно твердых тел, соединенных посредством силовых упругих, диссипативных, контактных элементов и вращательных шарниров. Упруго-диссипативными и контактными элементами кузов локомотива соединен с моделями тележек и автосцепным устройством. Отличительной особенностью модели локомотива является создание тягового усилия за счет введения на каждую колесную пару специального вращающего момента. Тяговые усилия через компьютерные модели автосцепок передаются к вагону. Таким образом, реализуется реальная схема движения поезда.

В компьютерных моделях соударения расчетные схемы препятствий представляют собой абсолютно твердые тела, обладающие одной поступательной степенью свободы в направлении оси движения поезда, моделирующие грузовой автомобиль массой 10 т и грузовой вагон массой 80 т.

Оценка динамической нагруженности единиц поезда при его столкновении с препятствием проводилась в рамках моделирования аварийных ситуаций с использованием разработанных компьютерных моделей поезда и препятствий в соответствии с условиями расчетных сценариев. Однако в расчетных сценариях рассматривается только одна скорость соударения поезда

с каждым из препятствий. В действительности эта скорость является случайной величиной и может отличаться от расчетной. В связи с этим в рамках моделирования аварийных ситуаций с использованием разработанных расчетных схем рассматривались столкновения поезда с автомобилем в диапазоне скоростей от 10 км/ч до 72 км/ч и соударения поезда с грузовым вагоном в диапазоне скоростей от 10 км/ч до 36 км/ч.

По результатам моделирования получены графики распределения максимальных сжимающих усилий, воздействующих на локомотив (рис. 3), а также на локомотив и грузовой вагон (рис. 4), при их столкновении с препятствием массой 10 т с различными скоростями.

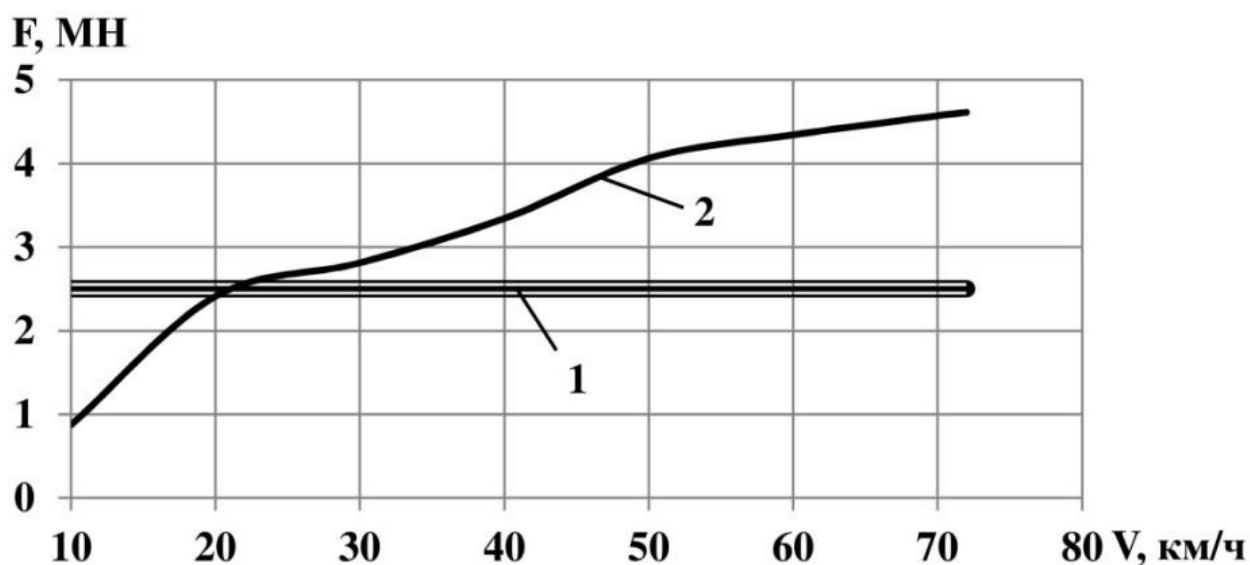


Рис. 3. Зависимость максимальных сжимающих усилий, воздействующих на локомотив при его столкновении с автомобилем:

1 – предельное значение силы; 2 – сила, действующая на локомотив

Анализ полученных результатов показывает, что при столкновении локомотива (как одиночного, так и в составе эталонного поезда) с препятствием массой 10 т со скоростью 20 км/ч в несущей конструкции локомотива могут появляться пластические деформации, поскольку действующее сжимающее усилие превышает предельное нормированное значение 2,5 МН, регламентированное «Нормами...» [10]. При этом на грузовой вагон воздействуют безопасные сжимающие нагрузки, поскольку их максимальное значение при расчетной скорости соударения 72 км/ч не превышают

нормированного значения, что свидетельствует об отсутствии пластических деформаций несущей конструкции вагона.

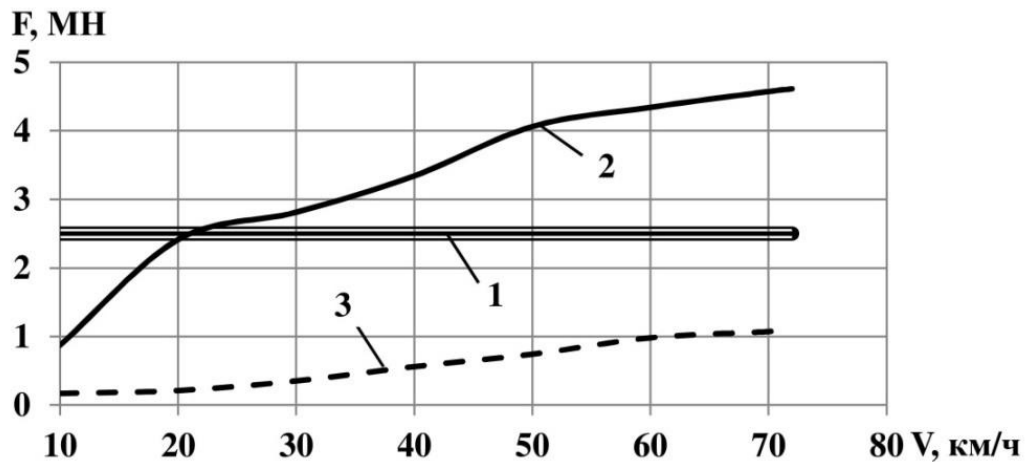


Рис. 4. Зависимость максимальных сжимающих усилий, действующих на локомотив и грузовой вагон при столкновении поезда с автомобилем:

- 1 – предельное значение силы; 2 – сила, действующая на локомотив;
3 – сила, действующая на грузовой вагон

Аналогичные результаты получены при моделировании соударения поезда с препятствием в виде грузового вагона массой 80 т и представлены в виде графиков распределения максимальных сжимающих усилий, действующих на локомотив (рис. 5), а также на локомотив и грузовой вагон (рис. 6).

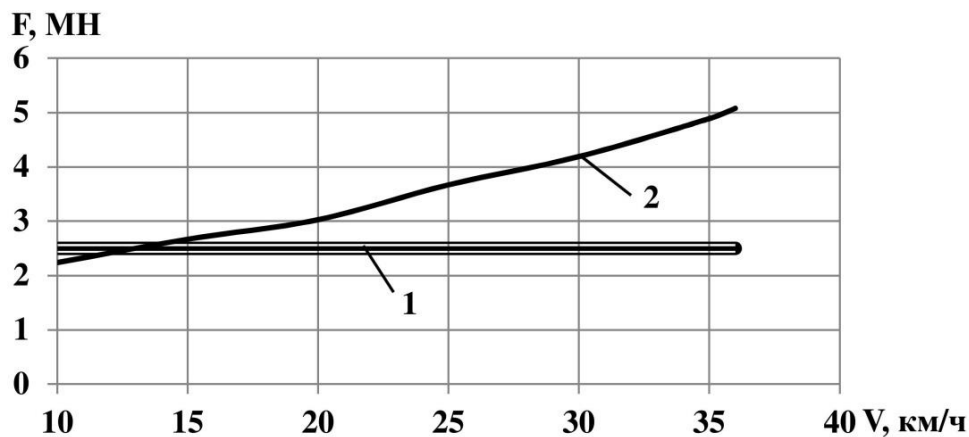


Рис. 5. Зависимость максимальных сжимающих усилий, действующих на локомотив при его столкновении с грузовым вагоном:

- 1 – предельное значение силы; 2 – сила, действующая на локомотив

Из графиков видно, что при столкновении с препятствием, по массе сопоставимым с загруженным грузовым вагоном, пластические деформации в

несущей конструкции локомотива могут возникнуть уже при скорости соударения 15 км/ч. При этом превышение сжимающим усилием, действующим на грузовой вагон в составе поезда, нормированного значения наблюдается при скорости соударения 30 км/ч. При скоростях соударения, близких к расчетным, возможно разрушение локомотива до степени исключения из инвентарного парка подвижного состава.

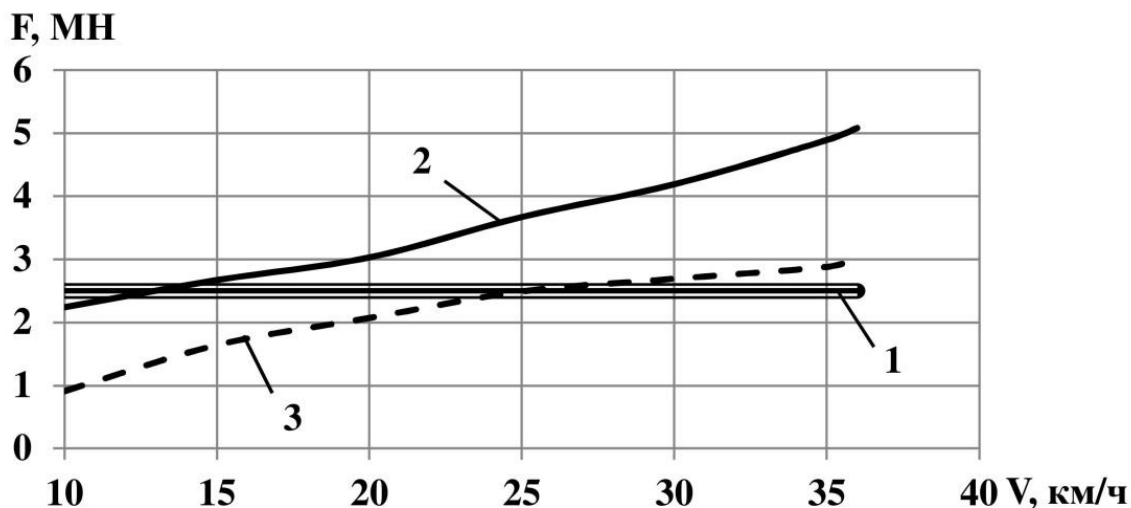


Рис. 6. Зависимость максимальных сжимающих усилий, действующих на локомотив и грузовой вагон при столкновении поезда с вагоном:

- 1 – предельное значение силы; 2 – сила, действующая на локомотив;
3 – сила, действующая на грузовой вагон (в составе поезда)

Полученные результаты имитационного моделирования аварийных соударений позволяют сделать вывод о высокой вероятности появления пластических деформаций несущих конструкций отечественных локомотивов и тяжелого травмирования локомотивной бригады, что свидетельствует о необходимости снижения динамической нагруженности тягового подвижного состава при аварийных соударениях. Это возможно путем оснащения пассажирского железнодорожного подвижного состава системами пассивной безопасности, состоящими из устройств поглощения энергии соударения.

Список литературы

1. Кобищанов, В. В. Оценка динамической нагруженности отечественных пассажирских вагонов при аварийных соударениях поездов с препятствиями/ В. В. Кобищанов, Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов// Технологическое обеспечение

ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием в трех частях. Часть 2. – Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2015. – С. 50 – 56.

2. Шорохов, С. Г. Анализ динамических усилий в межвагонных соединениях при аварийном соударении пассажирского поезда с препятствием/ С. Г. Шорохов, Д. Я. Антипин/ Инновационный транспорт-2016: специализация железных дорог: м-лы Международ. науч.- практ. конф. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – Вып. 8 (227). – С. 702 – 708.

3. Шорохов, С. Г. Применение компьютерного моделирования для анализа аварийных соударений железнодорожного подвижного состава/ С. Г. Шорохов// Моделирование природных и техногенных чрезвычайных ситуаций и рисков их возникновения: синтез достижений технических и социальных наук: сборник материалов научно-практической конференции. – Архангельск: КИРА, 2016. – С. 118 – 122.

4. Шорохов, С. Г. Обоснование компьютерной модели соударения пассажирского поезда с препятствием/ С. Г. Шорохов, Н. А. Редя // Приоритетные направления развития науки, техники и технологий: сборник материалов Международной научно-практической конференции, том II. – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2016. – С. 321 – 324.

5. Шорохов, С. Г. Применение компьютерного моделирования для оценки динамической нагруженности пассажирских вагонов при соударениях/ С. Г. Шорохов, Д. Я. Антипин // Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ: III научно-технический семинар. – Брянск: БГТУ, 2016. – С. 93 – 96.

6. Антипин, Д. Я. Применение моделей антропометрических манекенов для оценки безопасности пассажирского подвижного состава/ Д. Я. Антипин, В. В. Кобищанов, С. Г. Шорохов // Наука и образование транспорту. – 2015. – № 1. – С. 6 – 9.

7. Шорохов, С. Г. Обоснование расчетных схем соударения пассажирских поездов с препятствиями/ С. Г. Шорохов// Будущее машиностроения России: сб. тр. Седьмой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – С. 361 – 363.

8. ГОСТ 32410-2013. Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля.

9. «Универсальный механизм». Руководство пользователя, 2006.

10. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

УДК 629.4.015

О. А. Булавко

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ ОАО «РЖД»

Рассматриваются вопросы и перспективы развития тяжеловесного движения на железных дорогах ОАО «РЖД», повышение скоростей движения грузовых поездов.

20 декабря 2013 года советом директоров ОАО «РЖД» утверждена Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года, определяющая цели и задачи холдинга «РЖД», его ключевые приоритеты и проекты долгосрочного развития [1]. Сама программа долгосрочного развития ОАО «РЖД» и его дочерних и зависимых обществ до 2020 года как первый этап реализации Стратегии развития холдинга «РЖД» была разработана в соответствии с директивами Правительства Российской Федерации и одобрена советом директоров ОАО «РЖД» 1 декабря 2014 года. При этом цели и задачи программы полностью синхронизированы со Стратегией развития холдинга «РЖД».

Текущая целевая бизнес-модель определяет сбалансированное и взаимоувязанное развитие холдинга «РЖД» по пяти ключевым направлениям: транспортно-логистическое, пассажирские перевозки, железнодорожные перевозки и инфраструктура, международный инжиниринг и транспортное строительство, социальная политика.

Миссия Холдинга «РЖД» заключается в эффективном развитии конкурентоспособного на российском и мировом рынках транспортного

бизнеса, ядром которого является эффективное выполнение задач национального железнодорожного перевозчика грузов и пассажиров и владельца железнодорожной инфраструктуры общего пользования.

Миссия Холдинга реализуется через достижение к 2030 году ряда стратегических целей, в том числе: сохранение лидирующих позиций в сфере грузовых железнодорожных перевозок в Европе, увеличение перевозки грузов к 2030 году на 500-800 млн т [2].

По данным Росстата в 2016 году грузооборот транспорта в России вырос на 1,8% относительно 2015 года и составил 5 180,3 млрд ткм. При этом рост грузооборота произошел на всех видах транспорта. Грузооборот железнодорожного транспорта увеличился на 1,6%. В максимальной степени грузооборот вырос на воздушном транспорте (+20,6%). Доля железнодорожного транспорта в структуре грузооборота транспортной системы страны (рис. 1) составила 45,2% (на 0,1% ниже уровня 2015 года и на 2,4% выше докризисного уровня 2008 года), а без учета трубопроводного – не изменилась и составила 87,1% [2].



Рис. 1. Структура грузооборота в России по видам транспорта в 2016 году, %

В то же время вследствие изменения структуры перевозок, в том числе вызванного снижением доли высокодоходных грузов и увеличением доли низкодоходных грузов, снижение доходов к первоначальному плану составило более 84 млрд руб. [2]. Ключевой вызов, с которым столкнулось ОАО «РЖД» в 2016 году – это негативные изменения:

- в структуре перевозимых грузов по номенклатуре грузов и внутри номенклатурной группы «Нефть и нефтепродукты» (увеличение доли перевозок низкодоходных для ОАО «РЖД» грузов);

- по видам сообщений (снижение доли грузооборота по транзиту, внутригосударственным и международным перевозкам через погранпереходы при одновременном увеличении доли менее доходных перевозок грузов, следующих через порты Российской Федерации).

Тем не менее, в течение 2016 года последовательно реализовывались мероприятия, направленные на повышение эффективности работы. Так, для повышения эффективности использования локомотивов, была проведена работа по увеличению количества отправления грузовых поездов повышенной массы. Развитие тяжеловесного движения [1] является одним из приоритетных направлений, позволяющих обеспечить возрастающие объемы перевозок грузов и повысить эффективность работы железных дорог. Участки и направления железных дорог, включенные в перспективный полигон обращения поездов повышенной массы и длины, играют важную роль в осуществлении перевозок грузов.

Например, на Восточном полигоне количество поездов массой 7 100 т увеличено с 2 до 4 пар в сутки. Кроме того, по итогам тягово-энергетических испытаний увеличена масса поезда: для электровозов серий 2х2ЭС5К и 2ВЛ80С на участке Мариинск – Смоляниново с 7 100 до 7 500 т; с марта 2016 года организовано вождение грузовых поездов массой 6 300 т на участке Мариинск – Иркутск; на участке Лена – Северобайкальск для электровозов серии 3ЭС5К – с 5 800 до 6 000 т, в результате на всем участке Тайшет – Таксимо организовано вождение поездов массой 6 000 т; на полигоне Забайкальской железной дороги по результатам испытаний организовано вождение соединенных грузовых поездов массой до 12 600 т в период массовых ремонтно-путевых работ.

За счет устранения инфраструктурных ограничений по тяговому электроснабжению проведены опытные поездки грузовых поездов электровозами серии 2х2ЭС6 на участке Челябинск-Главный – Кинель – Рыбное, что увеличило массу поезда на участке Сызрань – Рыбное с 6 500 до 7 100 т.

Расходование инвестиционных средств Дирекцией тяги в 2016 году составило 75,8 млрд руб., или 99% к плану, в том числе по проекту

«Модернизация тягового подвижного состава» было освоено 5,6 млрд руб. – модернизировано 1 609 секций локомотивов, по проекту «Приобретение тягового подвижного состава» – 67,9 млрд. руб. – приобретено 493 новых локомотива (3,5% от эксплуатируемого парка), в том числе:

- 261 электровоз, из которых 43 пассажирских и 218 грузовых (3% от эксплуатируемого парка);

- 232 тепловоза, из которых 15 пассажирских, 118 грузовых (1,6% от эксплуатируемого парка) и 99 маневровых.

Поставка электровозов серии 3ЭС10 в Свердловскую дирекцию тяги позволила увеличить вождение грузовых поездов массой 9 000 т на полигоне Кузбасс – Северо-Запад с 2 до 4 ниток графика; поставка тепловозов серии 2ТЭ25КМ на Московский полигон позволила расширить полигон их работы на Республику Беларусь на участке Смоленск – Витебск, высвободить парк тепловозов серии 3М62У и повысить максимальную массу грузового поезда с 6 000 до 6 500 т.

В разрезе развития железнодорожных перевозок и инфраструктуры – направления, которое объединяет основные производственные бизнес-единицы, обеспечивающие приоритетные виды деятельности Компании по осуществлению железнодорожных перевозок, содержанию и развитию инфраструктуры и локомотивного комплекса – в 2016 году были выполнены установленные бюджетные задания по качественным показателям использования подвижного состава, в частности [2]:

- средняя масса грузового поезда составила 4 006 т, что на 0,7% выше плана и на 1 % – уровня 2015 года;

- средняя участковая скорость движения грузового поезда составила 39,7 км/ч, что на 0,3 % выше запланированного уровня и на 1,5% – уровня 2015 года.

Наряду с развитием тяжеловесного движения одним из приоритетных направлений также является и повышение скоростей движения грузовых поездов, так как не для всех категорий поездов повышение массы является технологически оправданным. Например, для контейнерных перевозок экономически обоснованным будет являться повышение скорости движения [3, 4]. Необходимость и возможность повышения скоростей движения отмечается во всех программах развития Минтранса РФ и ОАО

«РЖД», а возникающие при этом на современном этапе эксплуатации вопросы и проблемы рассматриваются на разных уровнях и обсуждаются в научных кругах [5-8].

Список литературы

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 17.06.2008 № 877-р.

2. Лицом к клиенту: годовой отчет 2016 / ОАО «РЖД»: Официальный сайт. – Режим доступа http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32 (свободный).

3. Курбасов, А. С. Тяжеловесное движение грузовых поездов на российских железных дорогах: за и против [Текст] / А. С. Курбасов – Наука и транспорт, 2012. – N 3. – С. 15 – 17.

4. Курбасов, А. С. Увеличение скоростей на железных дорогах России: возможности и преимущества [Текст] / А. С. Курбасов – Транспорт Российской Федерации, 2011. – N 6. – С. 20 – 23.

5. Андриянов, Е. А. Скорость доставки как конкурентное преимущество [Текст] / Е. А. Андриянов – Железнодорожный транспорт: Ежемесячный научно-теоретический технико-экономический журнал. – М.: ОАО «Российские железные дороги», 2017. – N 3. – С. 13 – 14.

6. Железнов, Д. В. На основе методики идентификации и прогнозирования [Текст] / Д. В. Железнов, А. Н. Митрофанов, Н. В. Митрофанова // Железнодорожный транспорт: Ежемесячный научно-теоретический технико-экономический журнал. – М.: ОАО «Российские железные дороги», 2017. – N 3. – С. 36 – 41.

7. Абрамов, А. А. Актуальные вопросы повышения скоростей движения грузовых поездов [Текст] / Железнодорожный транспорт: Ежемесячный научно-теоретический технико-экономический журнал. – М.: ОАО «Российские железные дороги», 2017. – N 4. – С. 28 – 32.

8. Бержезовский, А. М. Актуализация норм допускаемых скоростей движения подвижного состава на инфраструктуре ОАО «РЖД» [Текст] / А. М. Бержезовский, Б. Э. Глюзберг, И. В. Смелянский // Железнодорожный

транспорт: Ежемесячный научно-теоретический технико-экономический журнал. – М.: ОАО «Российские железные дороги», 2017. – N 6. – С. 28 – 35.

УДК 629.4.027.32

В. А. Нехаев, В. А. Николаев, Е. А. Самохвалов, М. Х. Минжасаров

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БУКСОВОЙ СТУПЕНИ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ НОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ

В докладе приведены результаты исследования влияния релаксации буксовых гидродемпферов современных локомотивов на показатели их динамических качеств. Проведен сравнительный анализ динамических свойств демпфера с релаксацией и без нее на примере простейших виброзащитных систем. На основе математического моделирования проведен сравнительный анализ показателей динамических качеств современных локомотивов с релаксацией буксовых гидродемпферов и без нее.

В теории виброзащиты нашли широкое распространение различные пассивные подвески, основанные на последовательном или параллельном соединений элементов «демпфер – упругий элемент» [1]. При этом наибольшее распространение получило параллельное соединение упругого элемента и демпфера на жесткой опоре, представленное на рис. 1 а, но следует заметить, что ряд исследователей отмечают [2, 3], что гораздо лучшими виброзащитными свойствами обладает подвеска, представляющая собой параллельное соединение упругого элемента и демпфера на упругой опоре (релаксационная подвеска), представленное на рис. 2 б.

В работе [1], проведен сравнительный анализ данных виброзащитных систем. Исследователями рассмотрена работа стационарных подвесок. Возмущением является неуравновешенность ротационной машины. В качестве критерия оценки виброзащитных свойств выбран коэффициент передачи сил – отношение амплитуды переданной силы, к амплитуде приложенной, определяемая по формуле для подвески, представленной на рис. 1 а:

$$КП = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}, \quad (1)$$

и для подвески представленной на рис. 2, б по формуле:

$$КП = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta r(1 + 1/N))^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r(1 + 1/N - r^2/N))^2}}, \quad (2)$$

где $\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$ – безразмерный коэффициент затухания, $r = \frac{\omega}{\omega_c}$ – отношение частоты внешнего возмущения к собственной частоте системы, $N = \frac{k}{k_1}$ – отношение коэффициентов жесткости пружин.

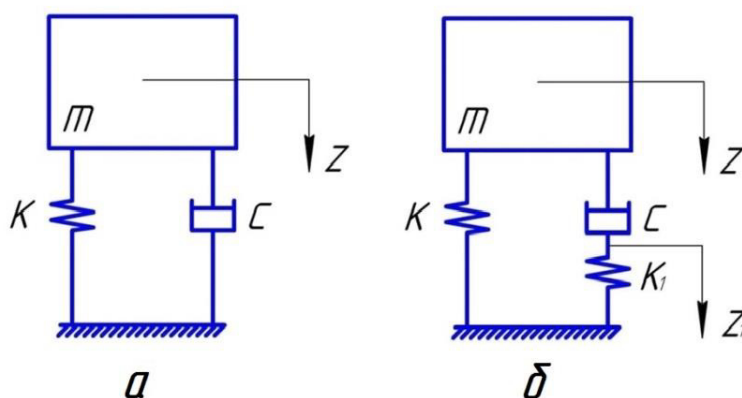


Рис. 1. Виды пассивных подвесок: *a* –демпфер на жесткой опоре; *б* –демпфер на упругой опоре

При отношениях частот $r=0,6$ и коэффициентов жесткости пружин $N=2$, а также безразмерном коэффициенте затухания $\zeta=0,4$, коэффициент передачи сил для релаксационной подвески $КП=1,37$, в то время как для подвески с демпфером на жесткой опоре $КП=1,38$. При отношениях частот $r=10$ и коэффициентов жесткости пружин $N=2$, а также безразмерном коэффициенте затухания $\zeta=0,4$, коэффициент передачи сил для релаксационной подвески $КП=0,03$, в то время как для подвески с демпфером на жесткой опоре $КП=0,0812$. Следовательно, при работе со значительными отношениями частот система, показанная на рис. 1 *б*, лучше подавляет вибрации, чем система, показанная на рис. 1 *а*.

Используемые в конструкции транспортных единиц релаксационные подвески имеют ряд характерных особенностей последовательного соединения «демпфер – упругий элемент» [2]. В расчет принимаются и такие детали как место расположения элемента в последовательной цепи соединения. Отметим,

что очередность последовательного расположения элементов не имеет значения.

В буксовом рессорном подвешиваний локомотивов применение гидравлических демпферов долгое время сдерживалось ввиду больших нагрузок, возникающих от действия высокочастотной (15 – 20 Гц и более) вибрации необрессоренной колесной пары [3]. Так, при ускорении буксы 10g сила по штоку гидродемпера (пропорциональная скорости) может достигать 40 кН и более.

Широкому применению гидравлических демпферов клапанного типа в буксовой ступени препятствует наличие высокочастотных возбуждающих воздействий со стороны пути, которые обуславливают значительный рост динамических усилий, действующих на демпфер. Для уменьшения этих усилий необходимо принимать специальные меры защиты. Так, в отечественных демпферах предусмотрены разгружающие клапаны, которые срабатывают при силе неупругого сопротивления, равной 10 кН (затем эта сила не меняется). Как показали испытания, установка клапана не всегда дает ожидаемый эффект, наблюдается несрабатывание клапана при ударных нагрузках, в результате чего возможно повреждение демпфера.

Применение релаксационной цепочки, для защиты гидродемпера от высокочастотных возмущений нашло повсеместное применение в конструкции современных локомотивов нового поколения. Наличие защитной пружины в рессорном подвешивании оправдывается в первую очередь повышением ресурса гидродемперов. Рассмотрим влияние релаксационной цепочки на показатели динамических качеств локомотива. Для оценки влияния достаточно определить показатели вертикальных колебаний локомотива на основе простых условных одноосных экипажей с демпфером на жесткой опоре (рис. 2, а) и экипажа с демпфером на упругой опоре (рис. 2, б).

Для составления математической модели динамики экипажа при его движении с постоянной скоростью воспользуемся энергетическим методом Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i \quad (3)$$

где T – кинетическая энергия подрессоренной массы; Π – потенциальная энергия системы; Φ – диссипативная функция колебательных процессов; q_i и

$\dot{q}_i$ – обобщенные координаты, и их производные; Q_i – обобщенные внешние силы.

В первую очередь назовем обобщенные координаты и введем параметры необходимые для расчета: z_T – вертикальное перемещение подресоренной массы; z_r – вертикальное перемещение гасителя; η – случайная функция неровности рельса под колесной парой; m_T – масса подресоренная; c_6 – жесткость буксовой ступени подвешивания; c_a – жесткость резинового амортизатора; β_6 – коэффициент вязкого трения буксовой ступени подвешивания.

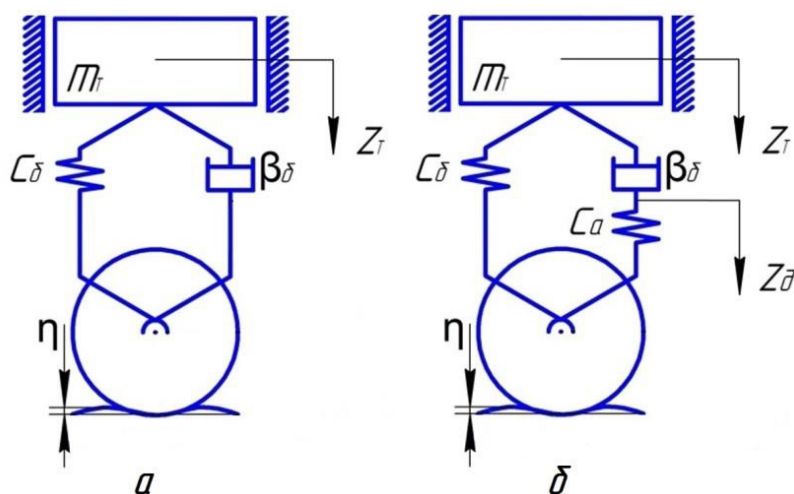


Рис. 2. Условный одноосный экипаж: а – с демпфером на жесткой опоре; б – с демпфером на упругой опоре

Для расчетной схемы, приведенной на рис. 2 а, справедливо уравнение (4), для расчетной схемы на рис. 2 б – система дифференциальных уравнений (5):

$$m_T \ddot{z}_T + \beta_6 \dot{z}_T + c_6 z_T = \beta_6 \dot{\eta} + c_6 \eta \quad (4)$$

$$\begin{cases} m_T \ddot{z}_T + \beta_6 \dot{z}_T + c_6 z_T = \beta_6 \dot{z}_r + c_6 \eta; \\ \beta_6 (\dot{z}_r - \dot{z}_T) + c_a (z_r - \eta) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Систему дифференциальных уравнений (5) возможно заменить дифференциальным уравнением третьего порядка, которое будет описывать вертикальное колебание подресоренной массы:

$$m_T \ddot{z}_T + \frac{m_T c_a}{\beta_6} \dot{z}_T + (c_6 + c_a) z_T + \frac{c_6 c_a}{\beta_6} z_T = (c_6 + c_a) \dot{\eta} + \frac{c_6 c_a}{\beta_6} \eta \quad (6)$$

Так как на локомотив оказывают воздействие случайные возмущения, то решение систем необходимо проводить в частотной области на основе передаточных функций. Для определения передаточных функции произведем преобразование уравнений (4) – (6) по Лапласу:

$$(m_t s^2 + \beta_6 s + c_6) Z_T(s) = (\beta_6 s + c_6) H(s); \quad (7)$$

$$(m_t s^3 + \frac{m_t c_a}{\beta_6} s^2 + (c_6 + c_a) s + \frac{c_6 c_a}{\beta_6}) Z_T(s) = ((c_6 + c_a) s + \frac{c_6 c_a}{\beta_6}) H(s). \quad (8)$$

Введем в рассмотрение передаточные функций обобщенных координат соответственно для первого и второго экипажа:

$$W_1(s) = \frac{Z_T(s)}{H(s)} = \frac{\beta_6 s + c_6}{m_t s^2 + \beta_6 s + c_6}; \quad (9)$$

$$W_2(s) = \frac{Z_T(s)}{H(s)} = \frac{(c_6 + c_a) s + \frac{c_6 c_a}{\beta_6}}{m_t s^3 + \frac{m_t c_a}{\beta_6} s^2 + (c_6 + c_a) s + \frac{c_6 c_a}{\beta_6}}. \quad (10)$$

Зная передаточные функции, можно оценить и спектральные плотности и среднеквадратические отклонения «обобщенных» координат заданной механической системы «экипаж – железнодорожный путь», если известна спектральная плотность входного возмущения. Определим все статистические показатели динамических качеств данного железнодорожного экипажа, а именно амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), среднеквадратическое отклонение (СКО) вертикальных ускорений подрессоренной массы.

Анализ графиков АЧХ показывает, что в зоне резонанса релаксация буксовых гидродемпферов приводит к увеличению амплитуд колебаний подрессоренной массы, что обусловлено низким значением диссипативной силы, развиваемой гидродемпфером из-за наличия упругого амортизатора. Следовательно, малое значение жесткости резинового амортизатора приводит к неэффективному функционированию гидродемпфера в зоне резонанса, что окажет негативное влияние на показатели вертикальных колебаний подрессоренной массы. В зарезонансной зоне колебаний релаксация приводит к снижению амплитуд колебаний подрессоренной массы, что, несомненно, повысит показатели вертикальной динамики локомотива. Таким образом, жесткость резинового амортизатора гидродемпфера в первую очередь

определяется значением амплитуд колебаний подрессоренной массы в зоне резонанса.

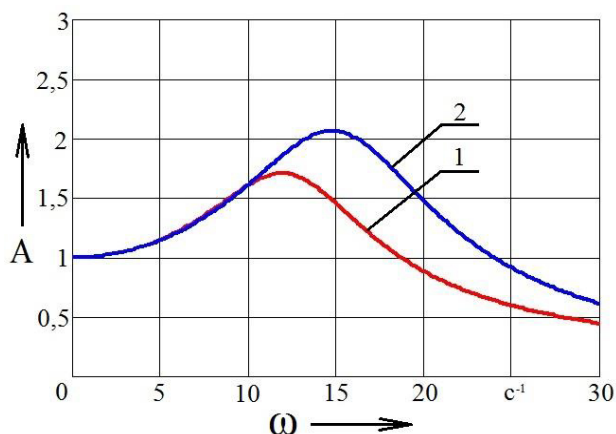


Рис. 3. АЧХ экипажей в зоне резонанса: 1 – с демпфером на жесткой опоре; 2 – с демпфером на упругой опоре

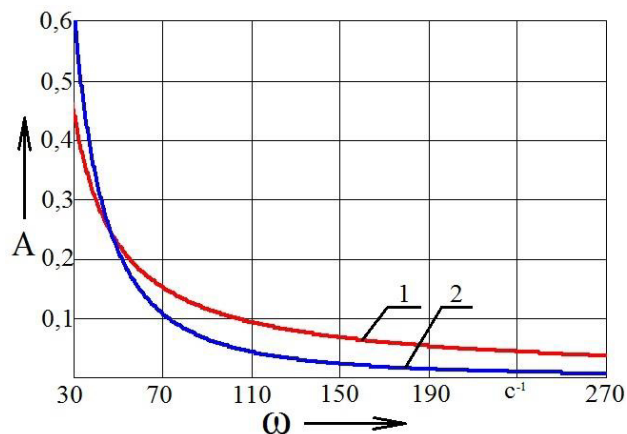


Рис. 4. АЧХ экипажей в зарезонансной зоне: 1 – с демпфером на жесткой опоре; 2 – с демпфером на упругой опоре

Уменьшение жесткости амортизатора приводит к увеличению амплитуды колебаний подрессоренной массы в зоне резонанса и снижению – в зарезонансной зоне, а также способствует увеличению ресурса гидродемпфера за счет снижения ударных нагрузок со стороны железнодорожного пути. Увеличение жесткости приводит к росту амплитуд колебаний зарезонансной зоне и снижению ресурса гидродемпфера.

Профессором С. В. Евстратовым установлено [3], что оптимальное значение жесткости резинового амортизатора равна примерно двум, т.е. жесткость упругих элементов в местах крепления гидродемпфера должна быть равна удвоенной жесткости рессорного подвешивания. Данное соотношение было использовано при подборе жесткости резинового амортизатора при проведении математического моделирования. Значение остальных упруго диссипативных параметров соответствует параметрам пассажирского локомотива ЭП2К.

Для аппроксимации спектральной плотности внешних возмущений используем эмпирическую формулу профессора А. И. Беляева [4]:

$$S(\omega, V) = \frac{\alpha D}{\pi} \cdot \frac{\alpha^2 + \beta^2 + \omega^2}{(\alpha^2 + \beta^2 - \omega^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}, \quad (11)$$

где V – скорость движения, км/ч; D – дисперсия ускорения, $\text{м}^2/\text{с}^4$; α и β – коэффициенты, с^{-1} .

Вертикальные виброускорения тележек, определим используя формулу:

$$\begin{cases} S_1(\omega) = |W_1(s)| \cdot S_\eta(\omega) \cdot \omega^4; \\ S_2(\omega) = |W_2(s)| \cdot S_\eta(\omega) \cdot \omega^4. \end{cases} \quad (12)$$

Так как виброускорения имеют нормальное распределение, определим среднеквадратические отклонения тележек по формулам:

$$\begin{cases} \sigma_1 = \sqrt{2 \int_0^\infty S_1(\omega) d\omega}; \\ \sigma_2 = \sqrt{2 \int_0^\infty S_2(\omega) d\omega}. \end{cases} \quad (13)$$

Результаты сравнительного анализа показателей динамических качеств вертикальных колебаний экипажа с демпфером на жесткой опоре и с демпфером на упругой опоре представлены на рис. 5.

Полученные результаты показывают, что виброускорения подрессоренных масс с демпфером на жесткой опоре на 20% больше, чем с демпфером на упругой опоре при скорости от 40 до 160 км/ч. Следовательно, наличие резинового амортизатора используемого в конструкции локомотивов нового поколения оправдывается как

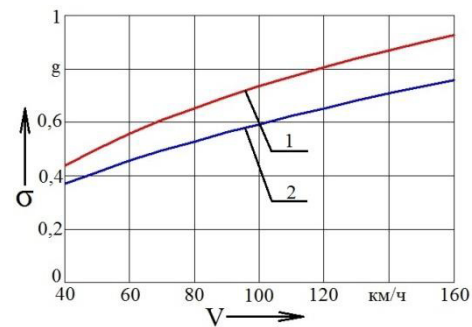


Рис. 5. СКО тележек:

- 1 – с демпфером на жесткой опоре;
- 2 – с демпфером на упругой опоре

положительным воздействием на показатели динамических качеств подрессоренных масс, так и увеличением ресурса гидродемфера, но следует заметить, что релаксация гидродемфера приводит к снижению диссипации механической энергии в зоне резонанса, что негативно повлияет на показатели динамических качеств локомотива в зоне резонанса. Данную проблему можно решить за счет применения управляемого демпфера, функциональные возможности которого позволят увеличить рассеяние механической энергии в зоне резонанса, что повысит показатели динамических качеств локомотивов еще больше.

Список литературы

1. Цзе, Ф. С. Механические колебания [Текст] / Ф. С. Цзе, И. Е. Морзе, Р. Т. Хинкл. – М.: Машиностроение, 1966. – 508 с.
2. Елисеев, С. В. Транспортные подвески. Математические модели. Выбор систем координат [Текст] / С. В. Елисеев, А. П. Хоменко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование / Иркутский гос. ун-т путей сообщения. – Иркутск. – 2011. – №2. – С. 8 – 17.
3. Евстратов, А. С. Экипажные части тепловозов [Текст] / А. С. Евстратов – М.: Машиностроение, 1987. – 136 с.
4. Беляев, А. И. Вероятностные характеристики стохастических колебаний колесной пары тепловоза 2ТЭ10Л / А. И. Беляев, В. К. Белов // Вестник ВНИИЖТ, 1971. – № 1. – С. 36 – 40.

УДК 629.04.02

С. Г. Шантаренко, А. А. Бакланов, Е. В. Пономарев, В. А. Тараненко

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОВОЗОВ НОВЫХ СЕРИЙ

Рассмотрены конструктивные особенности и эксплуатационная надежность электровозов новых серий 2ЭС6 и 2ЭС10. Даны рекомендации по повышению ресурса бандажей колес электровозов 2ЭС10 с асинхронным тяговым электроприводом. Исследована существующая конструкция системы подвешивания тягового электродвигателя электровоза 2ЭС6, проведен анализ ее влияния на работу узлов колесно-моторного блока. Предложена усовершенствованная конструкция поводка подвески, позволяющая снизить динамические воздействия на колесно-моторный блок при движении электровоза по рельсовому пути и повысить надежность элементов конструкции механической части, в том числе и корпуса моторно-осевого подшипника качения.

Рост объемов перевозочной работы на сети железных дорог ОАО «РЖД», повышение их пропускной и провозной способности во многом обусловлены надежностью и эффективностью использования тягового подвижного состава, в том числе за счет обновления парка современными грузовыми магистральными

электровозами (2ЭС6 «Синара», 2ЭС4К «Дончак», 2ЭС5К «Ермак», 2ЭС10 «Гранит» и др.).

Анализ основных показателей технического состояния парка грузовых электровозов как прежних, так и новых серий показывает, что остаются высокими количество отказов и неплановых ремонтов. При этом их значительная часть (25–30 %) приходится на неисправности деталей и узлов колесно-моторных блоков (КМБ), в том числе и тяговых электродвигателей (ТЭД). Основными причинами такого положения являются нарушение режимов эксплуатации, неудовлетворительное качество текущих ремонтов и технического обслуживания, недостаточный уровень надежности конструкции.

Повышение качества и эксплуатационной надежности локомотивов достигается за счет совершенствования конструкции, применения при изготовлении более качественных материалов и прогрессивных вариантов технологических процессов, оптимизации режимов эксплуатации, а также использования прогрессивных методов и средств при сохранении и восстановлении их работоспособности в период жизненного цикла.

Одной из серьезных проблем при эксплуатации локомотивов с асинхронным тяговым электроприводом является снижение ресурса бандажей колесных пар, которое обусловлено, прежде всего, особенностями такого привода [1]:

- большая мощность тягового электропривода, по сравнению с коллекторным двигателем (мощность и сила тяги асинхронного тягового двигателя в 1,3...1,5 раза больше, чем у двигателя постоянного тока);
- жесткие тяговые характеристики, предъявляющие повышенные требования к системе регулирования параметров асинхронного тягового электропривода и распределению нагрузок между колесно-моторными блоками;
- реализация предельных сил тяги электровозов при вождении грузовых поездов повышенной массы на лимитирующих подъемах и, как следствие, повышенный неравномерный износ бандажей по кругу катания колес в условиях импульсной подачи песка в зону сцепления колес с рельсами;
- большая чувствительность асинхронного тягового электропривода к жесткости пути.

Опыт эксплуатации электровозов постоянного тока серии 2ЭС10 «Гранит» в Кузбасском регионе Западно-Сибирской железной дороги показывает, что при вождении грузовых поездов повышенной массы на участках со сложным профилем и планом пути происходит интенсивный износ бандажей колес по кругу катания, усугубляемый подачей песка в зону сцепления колес с рельсами, при этом на поверхности катания бандажа образуется «канавка» и возникает выдавливание металла наружу бандажа (рис. 1). Это свидетельствует о том, что при реализации предельных сил тяги в условиях повышенного проскальзывания колес относительно рельсов температура металла бандажей возрастает настолько, что он размягчается. Разумеется, что для поддержания нормального профиля бандажей требуется их более частая обточка.

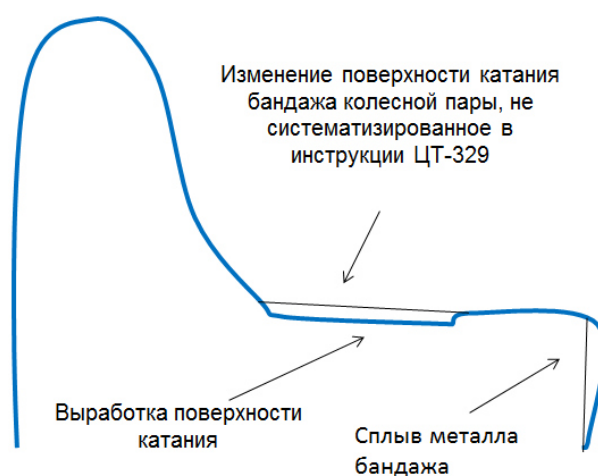


Рис. 1. Характерный износ бандажей колес электровоза 2ЭС10

С целью повышения ресурса бандажей колес электровозов 2ЭС10 с асинхронным тяговым электроприводом целесообразно выполнить теоретические и экспериментальные исследования и:

- определить оптимальные расчетные параметры электровозов для установления максимальных норм массы поездов без подачи и с подачей песка под колесные пары;
- определить оптимальный износ бандажей колес электровозов, при котором требуется их обточка;

- разработать оптимальную периодичность обточки бандажей колес электровозов с учетом сезонности;
- изучить влияние совместной работы систем пескоподдачи и гребнесмазывания на износ бандажей колес электровозов.

Использование в эксплуатации полученных в результате проведенных исследований результатов должно обеспечить ресурс бандажей колес, установленный нормативной документацией.

Колесно-моторные блоки электровозов 2ЭС6 имеют конструктивные отличия от КМБ электровозов прежних серий, такие как применение моторно-осевых подшипников качения с единым корпусом и система подвешивания тягового электродвигателя. В условиях эксплуатации при движении электровоза по рельсовому пути возникающие динамические нагрузки приводят к появлению неисправностей в деталях и узлах КМБ, в том числе трещин в корпусе МОП и в деталях крепления ТЭД к раме тележки (рис. 2) [2].



Рис. 2. Трещины в корпусе МОП и в кронштейне крепления подвода к ТЭД

В ходе проведенного анализа неисправностей, связанных с поводками подвешивания ТЭД к раме тележки, были выявлены нарушения целостности сайлентблоков головок поводка, а также наличие трещин в материале поводка (рис. 3).

На электровозе 2ЭС6 в конструкции опорно-осевого узла применены два роликовых моторно-осевых подшипника качения М 246949 – М 246910, объединенные единым жестким корпусом, выполненным из стали марки 09Г2С (рис. 4).

Такая конструкция обеспечивает качественную регулировку подшипников при сборке и их стабильную работу в эксплуатации.



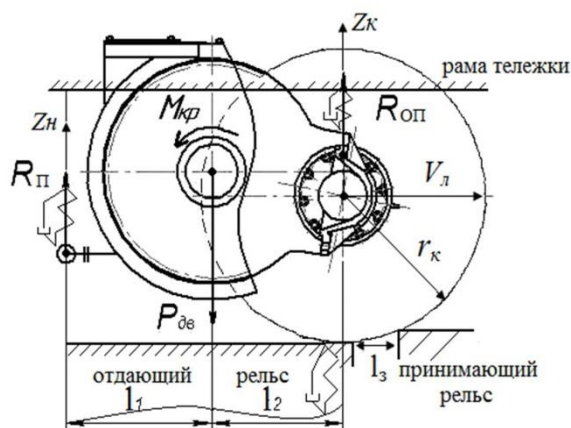
Рис. 3. Нарушения целостности сайлентблока головки поводка подвешивания ТЭД к раме тележки

Гарантийный пробег данных подшипников, заявляемый заводом-изготовителем, составляет не менее 5 млн. км.



Рис. 4. Конструкция опорного узла ТЭД электровоза 2ЭС6: 1,2 – моторно-осевые подшипники качения; 3 – единый жесткий корпус

Поле напряжений в материале корпуса моторно-осевых подшипников формируется под воздействием нагрузок от тягового электродвигателя, а также эпизодических и циклических сил со стороны колесной пары при движении электровоза по рельсовому пути (рис. 5) [3].



$P_{дв}$ – вес тягового двигателя;
 $R_{п}$ – усилие в поводке подвешивания ТЭД;
 $R_{оп}$ – нагрузка на ось колесной пары (реакция опоры на МОП);
 l_1 – плечо от точки подвешивания тягового двигателя к раме тележки до оси вращения якоря ТЭД;
 l_2 – плечо от оси вращения якоря ТЭД до оси колесной пары

Рис. 5. Расчетная схема для оценки напряжений в деталях КМБ

Со стороны тягового двигателя нагрузка на подшипник появляется от веса ТЭД, от крутящих моментов, возникающих при различных режимах работы, и определяется выражением [4]:

$$\sigma_0 = \frac{2(P_{дв}l_1 + M_{кр})}{\pi^2 r_{п} l_{п} (l_1 + l_2)}.$$

Величина крутящего момента зависит от массы поезда и режима его движения (трогание с места, режим длительной тяги и т.д.).

Со стороны колесной пары на моторно-осевой подшипник действуют динамические силы, возникающие при движении электровоза по рельсовому пути. Основными причинами возникновения динамических сил являются: неравноупругость рельсового пути; различного рода геометрические неровности рельсового полотна; стыковые рельсовые соединения; отклонения от окружности по кругу катания колеса и разница радиусов колес колесной пары.

Наибольшие напряжения в материале деталей подшипникового узла возникают при прохождении колесом стыковых неровностей. Кроме того, при движении электровоза по стыковому рельсовому пути циклический характер изменения напряжений приводит к ускоренному «старению» материала.

Воздействие стыковой неровности придает колесной паре вертикальную составляющую скорости. При этом за счет приобретенного колесной парой количества движения в области контакта элементов подшипникового узла возникают упругие силы. Зная величины этих сил и их распределение по

ролика подшипника можно рассчитать поле напряжений в материале корпуса подшипникового узла [4].

Таким образом, при прохождении колесной парой рельсового стыка в материале корпуса подшипникового узла возникает поле напряжений с максимальным значением в области сочленения с внешним кольцом подшипника

$$\sigma_{k \max} = \frac{4,6V_{л3}}{r_k h} \sqrt{\frac{m_p}{2l_p \pi k}}.$$

Результирующее максимально возможное напряжение в материале корпуса моторно-осевых подшипников находим суммированием напряжений от воздействия тягового двигателя и колесной пары

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 + \sigma_{k \max}.$$

Так как рельсовое стыковое соединение повторяется многократно, то для оценки эксплуатационной надежности корпуса моторно-осевых подшипников кроме максимального значения напряжения необходимо учитывать выносливость материала корпуса подшипников (сталь 09Г2С) при его циклическом нагружении. При этом за амплитуду размаха напряжений необходимо взять значение $\sigma_{k \max}$.

Полученные расчетные формулы позволяют дать оценку максимальным напряжениям, возникающим в материале корпуса моторно-осевых подшипников колесно-моторного блока электровоза 2ЭС6, в зависимости от режима работы тягового двигателя, скорости движения электровоза и параметров стыкового рельсового соединения.

В результате проведенных расчетов при скорости электровоза 100 км/ч и номинальном крутящем моменте на валу ТЭД с учетом напряжений, возникающих при циклическом нагружении, напряжение в материале корпуса МОП качения составит 227,07 Н/мм². Это значение близко к критическому (для стали 09Г2С предел выносливости составляет 235 Н/мм²), что может привести к разрушению корпуса подшипников.

В электровозе 2ЭС6 тяговый электродвигатель одним концом опирается через моторно-осевые подшипники качения на ось колесной пары, а другим – на раму тележки через специальную подвеску. При этом подвеска должна обеспечивать снижение динамических воздействий, передающихся на колесно-

моторный блок, которые возникают при трогании электровоза с места и прохождении колесной парой неровностей пути, а также возможность изменения взаимного положения тягового электродвигателя и рамы тележки при движении электровоза.

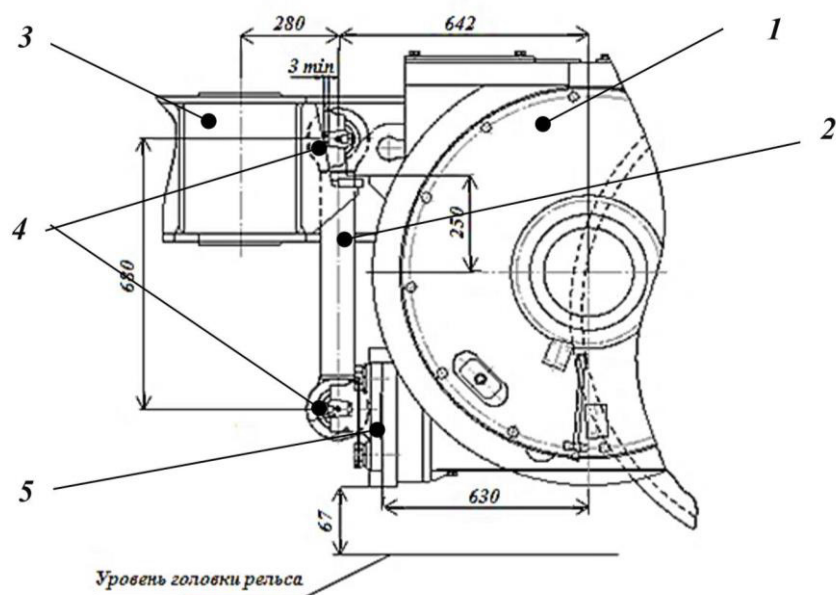


Рис. 6. Система подвешивания ТЭД к раме тележки

Связь тягового электродвигателя с рамой тележки – маятниковая. Подвешивание ТЭД 1 к раме тележки 3 осуществлено через поводок 2, имеющий на концах две головки 4 с резиновыми или полиуретановыми сайлентблоками. Клинообразные концы осей шарниров (сайлентблоков) устанавливаются в приваренном к раме тележки и в закрепленном шестью болтами на остове ТЭД кронштейнах 5, в которых они крепятся каждый двумя болтами, зафиксированными стопорными шайбами. В качестве страховки от падения тягового двигателя на рельсовый путь при обрыве поводка служат специальные приливы на остове ТЭД и среднем бруске рамы тележки.

В специализированной лаборатории был проведен ряд экспериментов по изучению амортизирующих свойств сайлентблока головки поводка подвешивания ТЭД при его статическом нагружении (рис. 7) [3].

В результате было установлено, что сайлентблок головки поводка подвешивания ТЭД в пределах рабочих нагрузок обладает низкими амортизирующими свойствами. Это приводит к тому, что при движении электровоза по стыковому рельсовому пути возникают значительные

напряжения как поводке подвески ТЭД, так и в системе колесно-моторного блока, неблагоприятным образом влияющие на их работу.

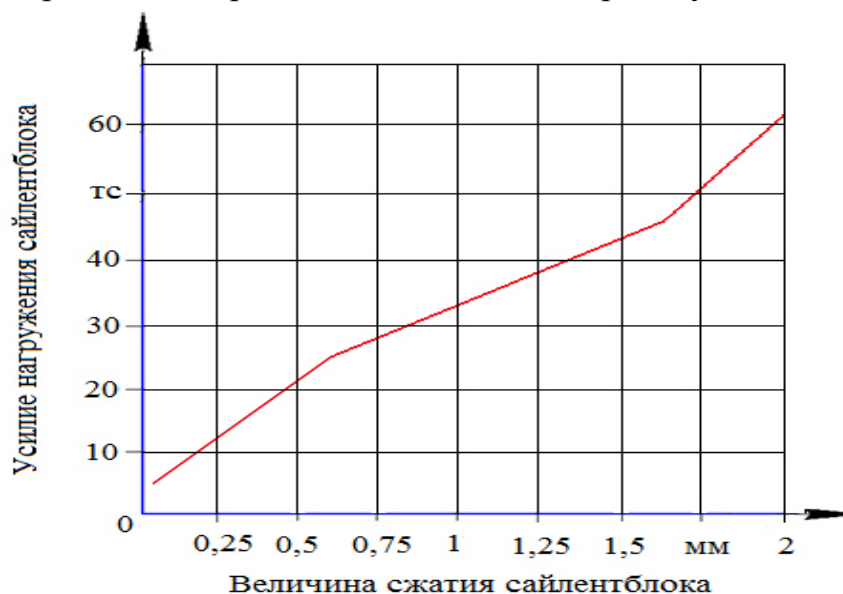


Рис. 7. График исследования нагружения поводка

Теоретические исследования показали, что максимальное напряжение при скорости электровоза равной 90 км/ч составляет $190,45 \text{ Н/мм}^2$. Эта величина близка к пределу выносливости (193 Н/мм^2) для материала, из которого выполнен поводок подвески ТЭД (сталь 20, труба бесшовная горячедеформированная).

На основании проведенных исследований существующей конструкции системы подвешивания ТЭД электровоза 2ЭС6 и анализа ее влияния на работу узлов колесно-моторного блока, предлагается усовершенствованная конструкция поводка подвески.

В предлагаемой конструкции нижняя головка поводка подвески тягового электродвигателя заменена двумя резиновыми шайбами (амортизаторами).

Крепление поводка к остову тягового электродвигателя осуществляется при помощи кронштейна измененной конструкции.

Усовершенствованная конструкция системы подвешивания позволит повысить амортизирующие свойства поводка подвески ТЭД, а также добавит степень свободы системе подвешивания ТЭД к раме тележки (возможность вертикального перемещения кронштейна для крепления поводка к ТЭД).

Теоретические исследования усовершенствованной конструкции, проведенные в результате численного интегрирования полученной

математической модели показали, что максимальное напряжение при скорости электровоза равной 90 км/ч составит 143,74 Н/мм².

Предполагаемые технические решения позволят снизить динамические воздействия на колесно-моторный блок при движении электровоза по рельсовому пути и повысить надежность элементов конструкции механической части, в том числе и корпуса МОП.

Список литературы

1. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС10 с асинхронными тяговыми электродвигателями. Руководство по эксплуатации. Описание и работа. Механическое оборудование. Часть 4. – 2ЭС10.00.000.000 РЭЗ / – Изд. конструкторско-исследовательского центра ОАО «СТМ», 2009. – 90 с.
2. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с коллекторными тяговыми электродвигателями. Руководство по эксплуатации. Часть 6. Механическая часть. – 2ЭС6.00.000.00 РЭ5 / ООО «Уральские локомотивы». – Екатеринбург, 2011. – 97 с.
3. Юрасов, О. Д. Повышение работоспособности колесно-моторных блоков электровозов серии 2ЭС6: дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / О. Д. Юрасов. – Омск, 2016. – 137 с.
4. Методика расчета напряжений в корпусе моторно-осевых подшипников качения / С. Г. Шантаренко, В. Ф. Кузнецов и др. // Омский научный вестник / Омский гос. техн. ун-т. Омск, 2014. – №3 (133). – С. 79 – 81.

УДК 629.4.015

И. Ю. Ермоленко, В. Н. Железняк

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ВАГОНА ПО АНАЛИЗУ ПАРАМЕТРОВ ПОЕЗДНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ В СЛОЖНОМ УЧАСТКЕ ГОРНОГО РЕЛЬЕФА ПУТИ ВСЖД

На Восточно-Сибирской железной дороге существуют проблемные вопросы по пропуску грузовых поездов. В течение длительного времени наблюдается повышенный уровень и интенсивность отказов в работе буксовых узлов, что приводит не только к срыву

графика движения грузовых и пассажирских поездов, но и увеличению времени и затрат на техническое обслуживание грузовых вагонов. В данной статье рассматривается постановка задачи оценки влияния колебаний механической системы, состоящей из кузова вагона и тележек, которые взаимодействуют с рельефом горного пути и дефектов на поверхности катания колесо-рельс. Проведена оценка работоспособности динамики вагона, анализ статического и динамического состояния системы вагон-путь, при наличии дефекта на поверхности катания колесо-рельс и их влияние на выработку рекомендаций по режиму ведения поезда.

На Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД) существуют проблемные вопросы по пропуску грузовых поездов. В течение длительного времени наблюдается повышенный уровень и интенсивность отказов в работе буксовых узлов, что приводит не только к срыву графика движения грузовых и пассажирских поездов, но и увеличению времени и затрат на техническое обслуживание грузовых вагонов. На этом участке частым является срабатывание электронных систем слежения за нагревом буксовых узлов – «КТСМ-01Д» и «КТСМ-02». На рис. 1 представлена картина местоположения контрольных комплексов по нагреву буксовых узлов.

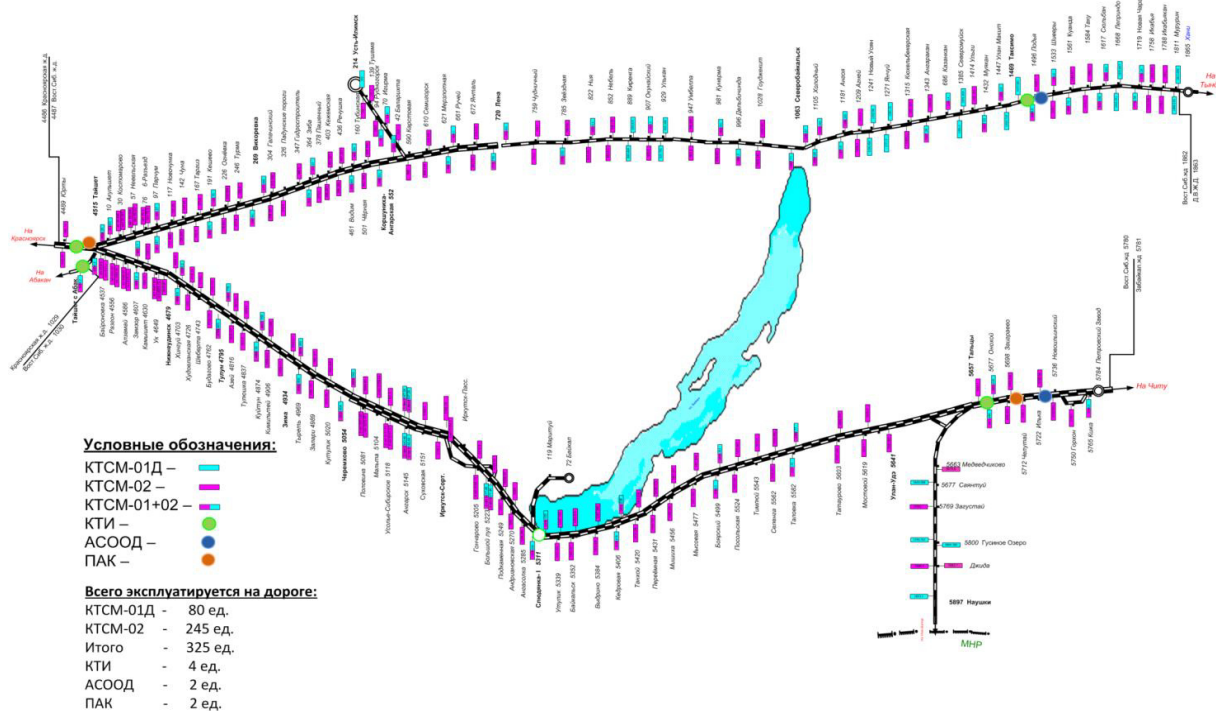


Рис. 1. Схема оснащения ВСЖД измерительной аппаратурой КТСМ

Всего на полигоне ВСЖД в эксплуатации используются 325 комплектов КТСМ, в том числе 80 комплектов КТСМ-01Д и 245 комплектов КТСМ-02.

Также эксплуатируются 4 комплекса КТИ (автоматизированный диагностический комплекс контроля геометрических параметров колесных пар), которые расположены на перегонах Юрты-Бирюсинск, Тагул-Тайшет, Онохой-Тальцы и Лодья-Таксимо, 2 системы АСООД (автоматизированная система обнаружения отрицательной динамики вагонов) расположенные на перегонах Лодья-Таксимо и Новоильинск-Илька и 2 поста ПАК (акустической системой выявления дефектов подшипников) расположенные на перегонах Челутай – Заиграево и Бирюсинск – Тайшет. Эти участки имеют сложный профиль пути с максимально допустимыми уклонами и малым радиусом кривизны.

При движении железнодорожного экипажа по кривой между колесами и рельсами развиваются значительные поперечные силы. Существуют два источника возникновения этих сил. К первому источнику относятся силы воздействия поезда, которые вызывают усилия в ударно-тяговых приборах. Вторым источником является динамическое взаимодействие экипажа и железнодорожного пути.

При освоении БАМ в процессе эксплуатации подвижного состава наиболее опасным считали колебание надрессорного строения на рессорах и даже предлагали делать, возможно, более жесткие рессоры во избежание резонанса, который может происходить от ударов на стыках. На самом деле эта опасность не так велика, как это казалось [1]. Объясняется это тем, что колебания подвижного состава происходят не только от одних ударов на стыках, но еще от целого ряда других причин, например: сколы, навары, и др., которые возбуждают динамические колебания не только в вертикальной плоскости, но и в боковой. Для раскрытия физической сущности этих колебаний нами были проведены поездные испытания на вагонах-лабораториях (вагон-путеизмеритель, тормозоиспытательный вагон).

Удары и толчки, возникающие при движении подвижного состава, происходят, с одной стороны, из-за постоянных или временных неровностей рельсов, а с другой, - благодаря неправильностям очертания колес по кругу катания. Построенные динамические переходные характеристики наглядно подтверждают наличие амплитудно-частотных колебаний, которые будут рассмотрены ниже.

В экспериментальных исследованиях взаимодействия вагона и пути определяются механические характеристики вагона и пути. В основу этих

исследований положены комплексные испытания, проведенные с помощью вагонов-лабораторий.

С помощью электронной измерительной аппаратуры, установленной в вагонах-лабораториях, регистрируются следующие параметры:

- линейные и угловые перемещения обрессоренных и необрессоренных масс вагона;
- вертикальные и горизонтальные ускорения;
- динамические силы, действующие на вагон при различной конструкции пути и различных неровностях пути;
- вертикальные и горизонтальные нагрузки на путь от вагонов, которые позволяют рассчитать напряжения в элементах вагона и пути.

По результатам испытаний определяется максимально допустимая скорость движения вагонов на заданном участке. В комплексных испытаниях изучается также влияние на динамические процессы различных вариантов конструктивных решений в данном типе вагона, а также изменение геометрических параметров трущихся деталей.

На рис. 2 показана схема колебаний при подпрыгивании и галлопировании.

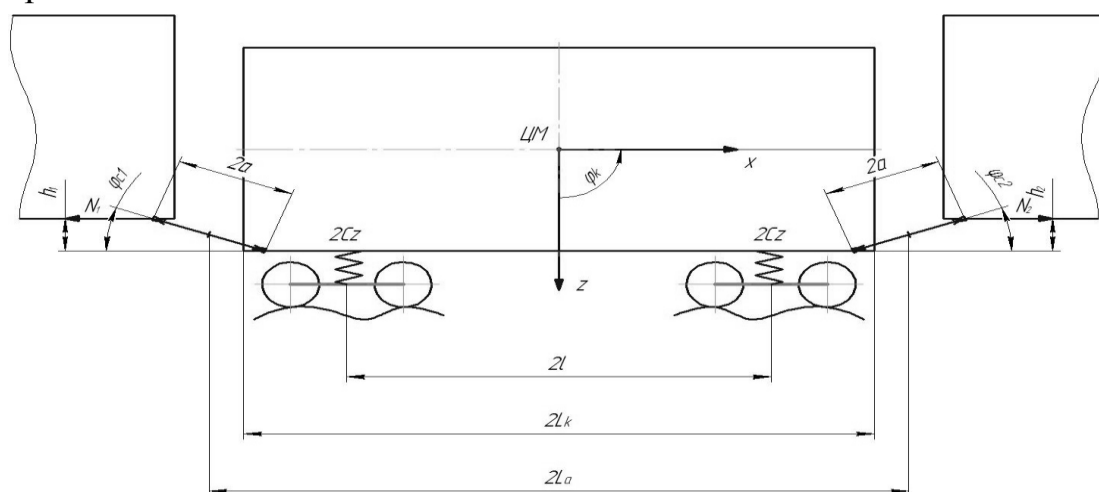


Рис. 2. Расчетная схема возбуждения параметрических колебаний подпрыгивания и галлопирования кузова вагона

Рассмотрим решение задачи моделирования вертикальных колебаний экипажа при движении по нашему выбранному участку.

Уравнение для параметрических колебаний подпрыгивания и галлопирования кузова отдельного вагона без учета диссипативных сил имеет вид [2]:

$$m_{\text{в}} \cdot \ddot{z} + z \cdot \left(4C_z + \frac{N(t)}{a} \right) = 0, \quad (1)$$

$$J_{\text{в.у}} \cdot \ddot{\varphi} + \varphi \cdot \left(4C_z \cdot l^2 + \frac{N(t)}{a} \cdot l \cdot L_{3\text{У}} \right) = 0, \quad (2)$$

где $m_{\text{в}}$ – масса вагона; $J_{\text{в.у}}$ – момент инерции кузова вагона относительно оси у; C_z – жесткость рессорного подвешивания; $N(t)$ – изменяющаяся во времени продольная сила; l – база вагона; $L_{3\text{У}}$ – расстояние между задними или передними упорами хребтовой балки; a – длина корпуса автосцепки.

Результаты численного интегрирования для груженого вагона,двигающегося по сложным участкам горного профиля пути с различной скоростью, представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1

Результаты моделирования

V, м/с	Подпрыгивание	Галопирование
5		
10		
15		
20		
25		

Через работу рессорного комплекта рассчитываем коэффициенты вертикальной динамики вагона (табл.1) по формуле [4]:

$$K_{ДВ} = \frac{f_{Д}}{f_{ст}} \cdot (1 + \varphi) + \varphi, \quad (3)$$

где $f_{Д}$ – величина прогиба (деформации) связи; $f_{ст}$ – статический прогиб рессорного комплекта; φ – коэффициент трения.

Для подтверждения вышеизложенных рассуждений, был проведен эксперимент с реальным груженым вагоном,двигающегося в составе поезда №2502 весом 5991 тс, всего 284 осей, вагонов 61 по данному участку пути. Видим, что относительно «общего шума» имеются пиковые динамические «выбросы», которые позволяют представить реакцию между рельсом и колесом в присутствии дефектов. Подобная амплитудно-частотная характеристика позволяет решить целый комплекс динамических задач. На рис. 3 приведена динамическая характеристика в горизонтальной плоскости, которую анализируем совместно с вертикальной характеристикой, представленной на рис. 2.



Рис. 2. Вертикальные нагрузки, возникающие в буксовых узлах при движении

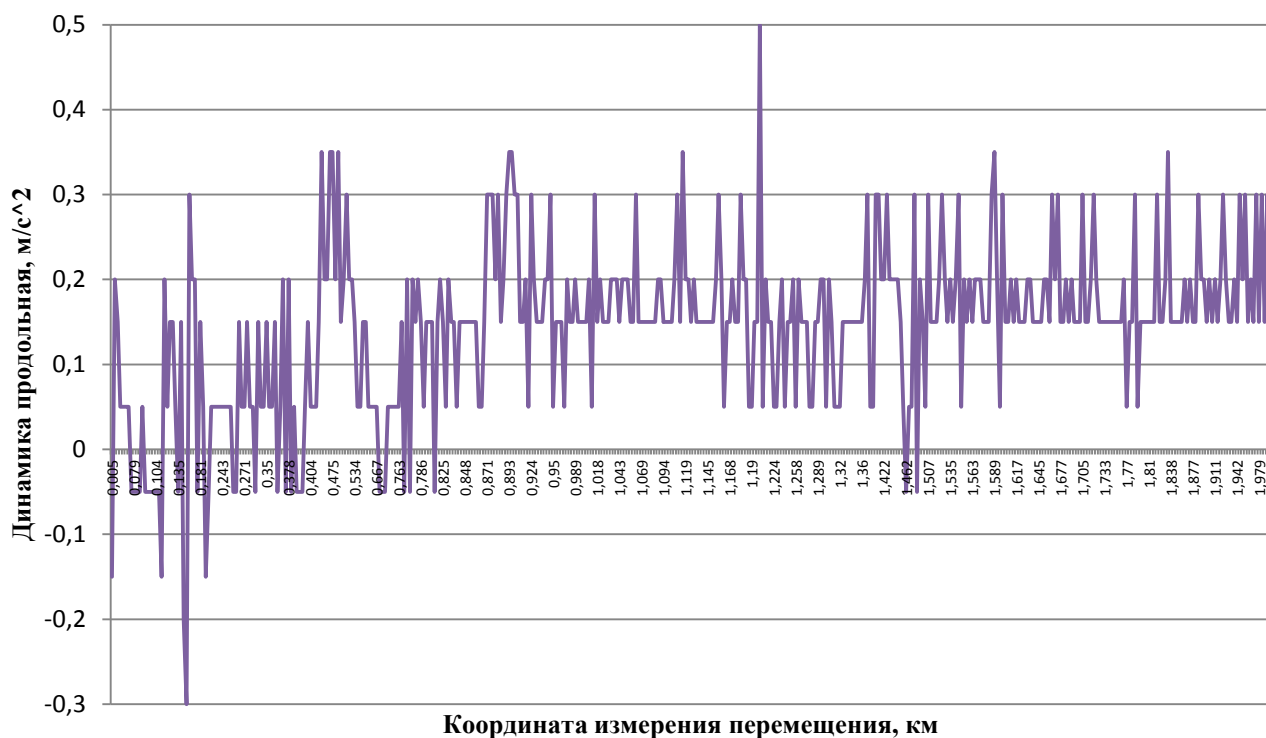


Рис. 3. Продольные нагрузки, возникающие в узлах автосцепного оборудования при движении

В целом полученные результаты позволяют выработать предложения, по выбору скоростных режимов обходя до и после резонансные участки.

Наработанные нами материалы позволили их использовать при оценке и выработке особых мнений от кафедры при расследовании сходов.

Список литературы

1. Бабенко, Д. Н. Динамика паровоза / Д. Н. Бабенко – М.: Трансжелдориздат, 1938. – 487 с.
2. Мышков, В. Г. Математическое моделирование в ремонте и эксплуатации грузовых вагонов / В. Г. Мышков – Отчет о НИР, Ч.1. Иркутск. 2005. – 68 с.
3. Ермоленко, И. Ю. Исследование вертикальных и поперечных колебаний вагонов при движении по горному участку ВСЖД / И. Ю. Ермоленко // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Седьмой международной научно-практической конференции (г. Иркутск, 29 марта 2016 г.). – Иркутск, 2016. – Т.2. – С. 535 – 538.

4. Вершинский, С. В. Динамика вагонов: учебник для вузов / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.

УДК 629.424:621.001.5

О. С. Лищенко, В. А. Минаков

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОСТИ ДЕТАЛЕЙ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛ, В ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЕ И КРИВОШИПНО-ШАТУННОМ МЕХАНИЗМЕ

Применение процесса компьютерного моделирования, как метода научного познания, различных систем такого сложного устройства как тепловоз, обладает сочетанием множества преимуществ, одно из которых простота использования и отсутствие финансовых затрат. Компьютерное моделирование позволяет получить достоверные результаты за короткий срок без использования сложных устройств контроля качества работы контролируемых систем.

Развитие технологического процесса в тепловозостроении имеет направление совершенствования качества и техническое усовершенствование рабочего процесса. Эти два направления можно представить, как совокупность действий, поэтому для элементарного технологического процесса такое деление на два направления представляется вполне обоснованным.

Совершенствование качества, связанное с движением исполнительных механизмов, осуществляется заменой механизмов на более совершенные и одновременно более сложные, осуществляется переход к комплексной механизации, которую, в свою очередь, сменяет автоматизация. Происходит замена оборудования на более мощное и ускоряются движения исполнительных механизмов.

С совершенствованием узлов и агрегатов усложняется контроль и проверка качества их работы. Для контроля работы сложных систем требуются как физические, так и материальные затраты. Аналогом же такого контроля служит моделирование контролируемых систем, узлов и агрегатов с помощью современных программно-аппаратных комплексов. Это позволяет без особых

затрат оценить технические параметры контролируемых узлов на различных режимах их работы.

В качестве подхода к компьютерному моделированию выбрано современное твердотельное моделирование, плюсами которого являются:

- твердотельное моделирование подразумевает создание тел, имеющих все параметры реального физического тела;
- твердотельные модели способствуют наилучшему визуальному восприятию деталей.

Таким образом, твердотельное моделирование – более естественный способ выразить сущность изделия.

Существует множество причин, обуславливающих использование модели вместо попыток прямого взаимодействия с реальным физическим объектом. К ним относятся естественная сложность многих моделируемых систем, сложность проведения натурных экспериментов, экономическая составляющая и т. д.

Предлагается использование программного комплекса визуального проектирования SolidWorks для моделирования процесса работы узлов локомотивов, а именно анализ распределения напряженности деталей кривошипно-шатунного механизма в результате взаимодействия сил, в цилиндро-поршневой группе и кривошипно-шатунном механизме.

SolidWorks – мощное средство проектирования, ядро интегрированного комплекса автоматизации предприятия, с помощью которого осуществляется поддержка изделия на всех этапах жизненного цикла в полном соответствии с концепцией CALS-технологий. Программа SolidWorks позволяет увидеть будущее изделие в объеме с разных сторон и придать ему реалистичности отображения в соответствии с избранным материалом.

В качестве узла, выбран кривошипно-шатунный механизм (КШМ) дизеля Д100 тепловозов серий ТЭ10.

КШМ служит для преобразования возвратно-поступательного движения поршней во вращательное движение коленчатого вала (КВ).

В программном комплексе SolidWorks были созданы 3D-модели деталей КШМ тепловозного дизеля (рис. 1.): поршень (нижний), шатун с крышкой, поршневой палец, вкладыши КВ. Данные модели выполнены в соответствии с реальными размерами, характерными для физического объекта [2].

Поршни воспринимают большие динамические нагрузки от газов и работают при высоких температурах. Поршни данного типа изготовлены из высокопрочного чугуна и состоит из юбки и специальной чугунной вставки.

Коленчатый вал соединен с поршнями при помощи шатунов. Шатуны преобразуют возвратно-поступательное движение поршней во вращательное движение КВ.

На дизелях 10Д100 шатуны верхнего и нижнего КВ одинаковы по конструкции, но отличаются длиной (нижний длиннее верхнего на 102 мм). Шатуны изготовлены из специальной стали (40 ХФА), имеют верхнюю головку (неразъемную), стержень двутаврового сечения с уширением посередине, где проходит канал для масла, и нижнюю разъемную головку. Нижняя головка является разъёмной. В ней устанавливается подшипник скольжения. Данный подшипник выполнен из двух вкладышей, они взаимозаменяемы.

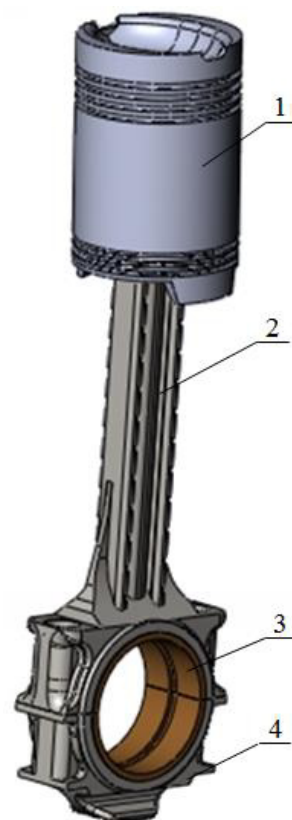


Рис. 1. КШМ дизеля:

- 1 – поршень; 2 – шатун;
3 – вкладыши;
4 – крышка шатуна

Анализ напряженности деталей кривошипно-шатунного механизма выполнялся по отдельности для каждой детали рассматриваемого узла дизеля. с помощью программного обеспечения SolidWorks – Simulation, тип – статический анализ. Исследование производится в три шага. Результаты исследования представлены на рис. 2.

Первый шаг– это выбор материала объекта. Поршня – высокопрочный чугун, шатун – легированная сталь 40 ХФА; вкладыши – бронза.

Второй шаг – это задание границы контакта компонентов, т. е места соприкосновения деталей (крепление).

Третий шаг исследования – приложение внешних сил (вращающий момент, температура, давление, сила тяжести и др.) и задание величины действия силы на объект. Величина приложенный сил определяется из динамического расчета КШМ дизеля 10Д100, выполненного ранее.

Эпюра распределения напряжения в SolidWorks представлена напряжениями по Мизесу (эквивалентных), величина напряжений представлена согласно международной системе СИ в МПа.

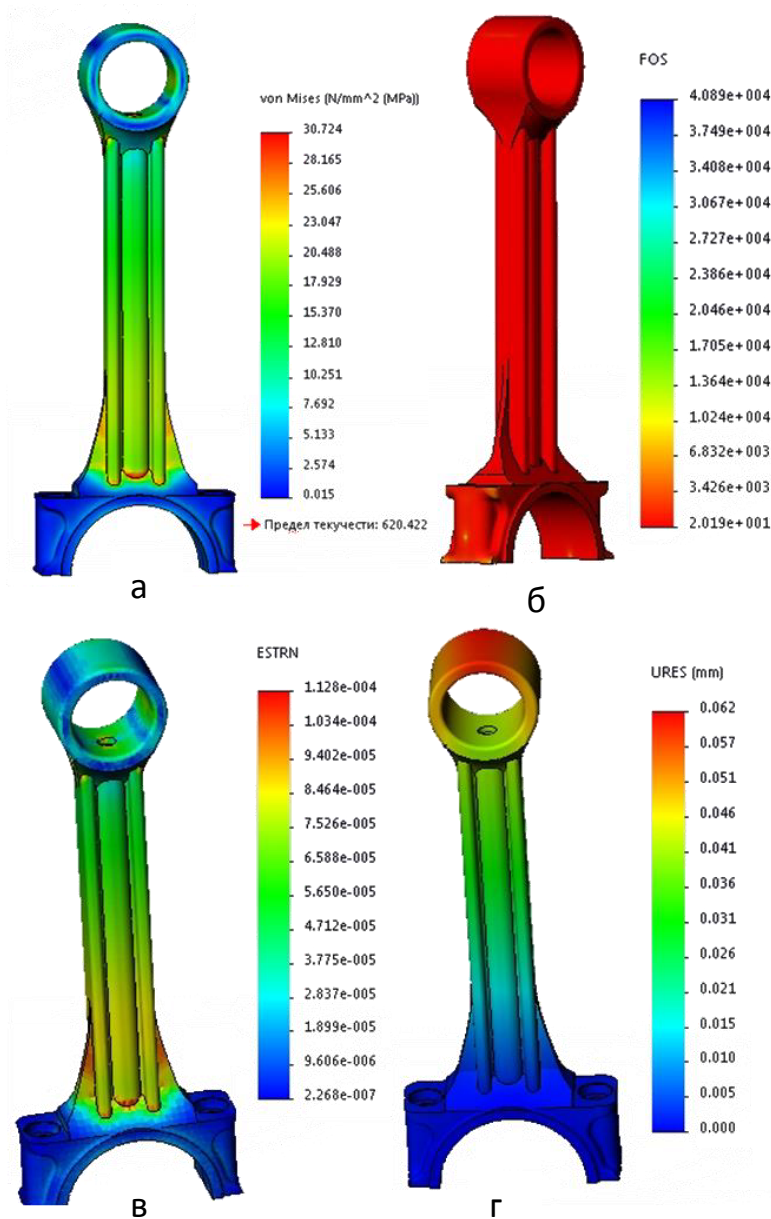


Рис. 2. Параметры результата исследований:

а – эпюра распределения напряжений; б – эпюра запаса прочности (FOS);
в – эквивалентная деформация; г – результирующее перемещение поверхностей

Эпюра запаса прочности характеризуется специальным коэффициентом FOS. Большие коэффициенты прочности (около 4 – 8) в некоторой области указывают на то, что предоставляется возможность сэкономить материал в этой

области. В нашем случае это сделать невозможно, т. к. эпюра представлена в одном цвете (значение коэффициента прочности 2 – 2,5).

Эквивалентная деформация (ESTRN) – одна из составляющих деформации, которая включает в себя нормальную деформацию по оси X , Y , Z и сдвиг по Y в плоскости YZ , сдвиг по Z в плоскости YZ , сдвиг по Z в плоскости XZ . Следующий параметр результата исследования это результирующее перемещение.

Результирующее перемещение (URES) – одна из составляющих перемещений, включающая в себя перемещения в направлении X , перемещения в направлении Y и перемещения в направлении Z . Измеряется в мм.

Таким образом можно заключить что, процесс моделирования обладает преимуществом отсутствия финансовых и материальных, трудовых и физических затрат, для получения высокого достоверным результата определения параметров работы контролируемых узлов, систем и агрегатов.

Список литературы

1. Дударева, Н. Ю. Самоучитель SolidWorks [Текст] / С. А. Загайко, Н. Ю. Дударева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 336 с.
2. Подкопаева, В. К. Альбом чертежей дизеля 2Д100 [Текст] / В. К. Подкопаева, М. А. Медведева, Е. А. Котляр. – М.: ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ, 1963. – 280 с.
3. Тепловозы 2ТЭ10М, 3ТЭ10М: Устройство и работа [Текст] / С. П. Филонов, А. Е. Зиборов и др. – М.: Транспорт, 1986. – 288

УДК 629.423 (075.8)

С. В. Швецов, О. В. Гателюк

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ С ПОЗИЦИИ НАДЕЖНОСТИ

Приведены результаты исследований особенностей устройства и эксплуатации наиболее уязвимого оборудования электровозов последних лет выпуска с позиции надежности в условиях эксплуатации Урало-Сибирского региона

Электровоз обладает принципиальными отличиями по способу создания силы тяги от паровозов, тепловозов, газотурбовозов. Эти отличия имеют место не только в конструкции, но также в условиях и полигонах эксплуатации, режимах работы и в организации и технологии технического обслуживания и ремонта, что определяет некоторые особенности влияния на надежность электровозов и их узлов при создании, а также на эксплуатационную (с учетом реальных факторов) надежность, поддерживаемую, в том числе системой технического обслуживания и ремонта.

Как и во всех локомотивах, независимо от принципа действия, изменение физического состояния материала деталей, входящих в состав устройств, агрегатов и узлов, в эксплуатации происходит именно под действием преобразований энергии. В результате действия механической, электрической, тепловой, химической и электромагнитной энергий происходят процессы старения, изнашивания и разрушения, приводящие к формированию повреждений и отказов деталей узлов вследствие изнашивания, поверхностного истирания, накопления усталостных напряжений и деформаций, перегрева, расплавления, химической и электрической коррозии, пробоя изоляции и т.п. Это создает большое многообразие видов повреждений и отказов, а также их причин.

Изменение потенциального уровня надежности, заложенного при создании электровозов происходит при их использовании в конкретных условиях эксплуатации под действием внутренних рабочих нагрузок и внешних факторов, свойственных внешней среде на том или ином тяговом участке. Под действием этих факторов в узлах и деталях электровоза протекают процессы, приводящие к износу, старению материала деталей, разрегулировке взаимодействующих и сопряженных элементов, к снижению, и в итоге, к потере работоспособности, т.е. отказу. Изучение, а именно качественный и количественный анализ этих процессов, т.е. физических основ отказов, необходимо для эффективного управления надежностью электровозов на всех этапах их жизненного цикла. Таким образом, в процессе проектирования, обслуживания, испытаний, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта необходимы полные и достоверные данные о причинах и последствиях повреждений и отказов.

Надежность является комплексным свойством, которое включает в себя безотказность, долговечность и ремонтпригодность, а при хранении в условиях запаса (резерва) – и сохраняемость. Для конкретных типов

электровозов и условий их эксплуатации указанные аспекты надежности могут иметь различные нормируемые и фактические значения их показателей.

Требования, предъявляемые к надежности электровозов, определяются общими техническими требованиями к магистральным и маневровым электровозам, уточняются по техническим условиям на конкретный тип электровоза и подтверждаются «Картой технического уровня и качества продукции».

В указанном ТУ приводятся нормативы показателей долговечности и общие данные об объемах работ по видам ремонта для основных сборочных единиц и комплектующих элементов оборудования электровоза (см. таблицу 1).

Перечень сборочных единиц, номенклатура и нормативный показатель долговечности, а также объемы работ при ТР и КР зависят от назначения электровоза по роду работы, конструктивного совершенства комплектующих элементов, характеризующимися значениями рабочих параметров, и условий предстоящей эксплуатации. Значения рабочих параметров при изготовлении должны находиться в установленных границах поля допуска, т.е. уже при изготовлении рабочие параметры не детерминированы, а имеют некоторое распределение, разброс относительно среднего значения. Это безусловно создает разброс рабочих свойств и соотношений свойств и нагрузений в эксплуатации и оказывает прямое влияние на надежность.

Несмотря на значительную подверженность узлов и электровоза в целом действию многих факторов, отрицательно влияющих на надежность элементов конструкции электровоза, отсутствуют специальные схемы резервирования и избыточных элементов, находящихся в холодном резерве. Но тем не менее, можно рассматривать создание магистральных электровозов в двух- и трехсекционном исполнении, как применение горячего резерва. Это позволяет существенно повысить надежность вывода состава с тягового участка в случае отказа одной секции. К такому же эффекту в отношении повышения надежности приводит наличие двух компрессоров, двух генераторов управления, возможность отключать из работы отказавший тяговый двигатель и т.п. Следует обратить внимание, что на современных отечественных пассажирских электровозах ЭП2К и ряде зарубежных установлен один компрессор для выработки сжатого воздуха.

Таблица 1

Нормативы показателей долговечности оборудования электровозов

Сборочные единицы, комплектующие элементы	Срок службы до списания или замены	Общий объем работ по видам ремонта	Гарантийная наработка, тыс. км. пробега
Агрегат компрессорный ВВ-3,5/10 У2 ДЭН-30МО У2	-	Техническое обслуживание ТО - 2 (180 часов, 36 000 км – для электровоза 2ЭС6; 75 часов, 15 000 км – для электровоза 2ЭС10) ТО-30(30 тыс. км)	6000 моточасов, 3 года
Тяговые электрические машины и аппараты	20 лет	ТР-2, ТР-3 – обслуживание и регулировка; КР – ремонт	По ГОСТ-2582-83
Аккумуляторная батарея	8 лет с заменой элементов	ТР-3 – ремонт со сменой электролита	По техническому заданию
Рама и кузов электровоза, рама тележки	20 лет	ТР-3 – осмотр; КР – ремонт	1200
Колесная пара	20 лет	ТР-3 – осмотр; первый КР – ремонт	По ГОСТ-11018-87
Оси колесных пар	20 лет	ТР-3 – осмотр; первый КР – ремонт	По ГОСТ-3281-81
Центры колесных пар	20 лет	ТР-3 – осмотр; первый КР – ремонт	По ГОСТ-4491-86
Бандажи колесных пар	по ГОСТ 398-81	ТР1 - обточка	400
Букса:			
Корпус, крышка, поводок	2,4 млн. км.	ТР-2 – осмотр; ТР-3 - ревизия, ремонт	1200
Резиновые элементы	2,4 млн. км.	ТР-2 – осмотр; ТР-3 - ревизия ТР-3 – частичная замена	400
Подшипники	2,4 млн. км.		600
Тяговый редуктор	2,4 млн. км.	ТР-2, ТР-3 – осмотр; первый КР – дефектоскопия шестерен, частичная переборка подшипников, замена, ремонт	720

Как правило, такие компрессоры созданы на основе новых технологий и способны без ремонта обеспечить наработку до отказа до миллиона километров пробега при условии соблюдения правил эксплуатации и нормативов технического обслуживания (замены масла, манжет, фильтров и т.п.). Однако, как свидетельствуют данные статистического анализа и контроля надежности работы компрессорных агрегатов как грузовых, так и пассажирских электровозов, необходимо принимать меры по повышению их

конструкционной и эксплуатационной надежности. Особенно остро эта проблема относится к тем локомотивам, на которых установлено по одному агрегату компрессорному и, следовательно, нет даже общего резервирования надежности. Представляет особый интерес анализ надежности компрессоров нового поколения, так называемых, винтовых агрегатов компрессорных типа ВВ-3,5/10, АКРВ, ДЭН 30, применяемых на новых электровозах 2ЭС6 «Синара», 2ЭС4 «Дончак», ЭП2К и других. Для анализа использовались статистические данные по отказам винтовых (шнековых) компрессоров. Нарботка до отказа (пробеги) принимались по эксплуатируемым электровозам от предшествующих восстановительных ремонтов или начала эксплуатации.

По зависимостям распределения наработки до отказа компрессоров от пробега (см. рис. 1-2), результатам анализа опытных и расчетных данных, можно заключить, что законы распределения имеют сложный характер, что определяется суперпозицией моделей отказов, а именно суперпозицией внезапных и постепенных отказов. Это явление нормальное и ожидаемое. В подобных случаях прибегают к выделению из суперпозиции идеализированных моделей. В нашем случае это модель внезапная (экспоненциальный закон) и постепенная модель (нормальный закон или гамма-распределение). Причем, как показывают расчеты, с различными параметрами, например по математическому ожиданию и амплитуде. Как известно, причины возникновения отказов, описываемых различными моделями, также имеют различную физическую природу, а именно внезапные отвечают за такие факторы, как внешние (сезонные, конструкционные, ошибки в эксплуатации, неадекватные условия эксплуатации и т.д.), а постепенные в основном определяют неудовлетворительное техническое состояние, некачественный неполный ремонт и старение, деградацию свойств объекта. Суперпозиции моделей компрессоров схожи и состоят из явно выраженных нормальных или гамма и экспоненциальных распределений со значительными и одинаковыми амплитудами. Это означает, что причинами отказов практически в равной степени являются внешние, а также внутренние факторы, напрямую связанные с техническим состоянием, а, следовательно, и с качеством технического обслуживания и ремонта оборудования. Следует обратить внимание на тот факт, что поршневые компрессоры имеют более длительные интервалы наработок и меньшие амплитуды максимумов относительных частот до отказа по сравнению с винтовыми агрегатами, что свидетельствует о более высоком уровне надежности в эксплуатации поршневых компрессоров. Возможно, это

связано с более отлаженной и проверенной временем системой их технического обслуживания и ремонта. В результате проведенного анализа потребуется скорректировать подходы к техническому обслуживанию, назначить дополнительное диагностирование, в первую очередь, бортовое, без снятия оборудования с электровоза, и при подтверждении предотказного состояния оборудования с выкаткой и стационарным комплексным диагностированием по полному перечню-регламенту. Кроме того, необходимо определить внешние факторы, приводящие к отказу компрессоров и выражаемые экспоненциальной (внезапной) моделью отказов. Это могут быть сезонные (климатические) факторы, нестандартные детали и комплектующие, конструкционные факторы, эксплуатационные перегрузки, ошибки в эксплуатации и др. Это соответствует общим представлениям о надежности вновь запускаемого оборудования, когда происходят отказы узлов, условно прошедших приемочный контроль или имеющих скрытые дефекты и вероятность их необнаружения. Для качественно изготовленных объектов этот пробег должен укладываться в гарантийный период эксплуатации, что не вполне соответствует рассматриваемому виду оборудования. Обработка данных по отказам с помощью статистических критериев Крамера-Уэлча (равенство средних значений), Вилкоксона (критерий сдвига), Сиджела-Тьюкки (критерий масштаба) показывает, что эти выборки не различаются по данным параметрам, следовательно, компрессоры ДЭН и ВВ по качеству примерно одинаковы. По одному из показателей надежности - пробегам до отказа - эти компрессорные установки статистически не различаются. Отказы агрегатов компрессорных (АКРВ) подчиняются внезапной модели отказов, о чем свидетельствует характерное экспоненциальное изменение опытной частоты от начала эксплуатации до 300 тыс. км пробега, причем наблюдается суперпозиция моделей 1 и 2 рода. В период (300 тыс. км) начинают проявляться отказы в основном износового характера с достаточно заметной амплитудой, связанные с техническим состоянием и качеством технического обслуживания АКРВ. На основании статистической информации по ремонтным депо Московка (Омск) и Екатеринбург получены гистограммы, приведенные на рис. 3,4. Анализ формы гистограмм показывает, что как для условий Западно-Сибирского, так и Уральского регионов характерно возрастание относительных частот отказов по данному виду оборудования в совпадающих интервалах пробега. Кривые интенсивности отказов для двух сравниваемых депо близки между собой (коэффициент корреляции между значениями интенсивностей $R=0,85$). Таким

образом, можно заключить, что проблемы с отказами оборудования аналогичны в обоих депо.

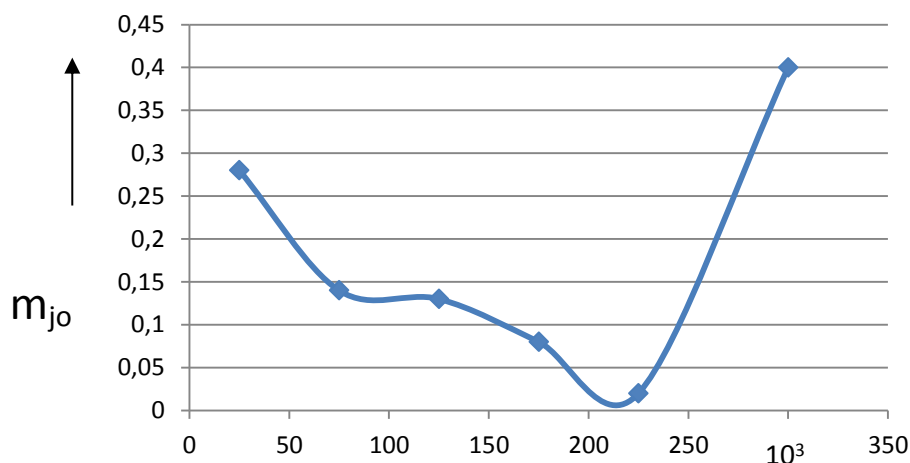


Рис. 1. Зависимость опытной частоты агрегатов компрессорных ВВ- 3,5/10У2 от пробега от начала эксплуатации

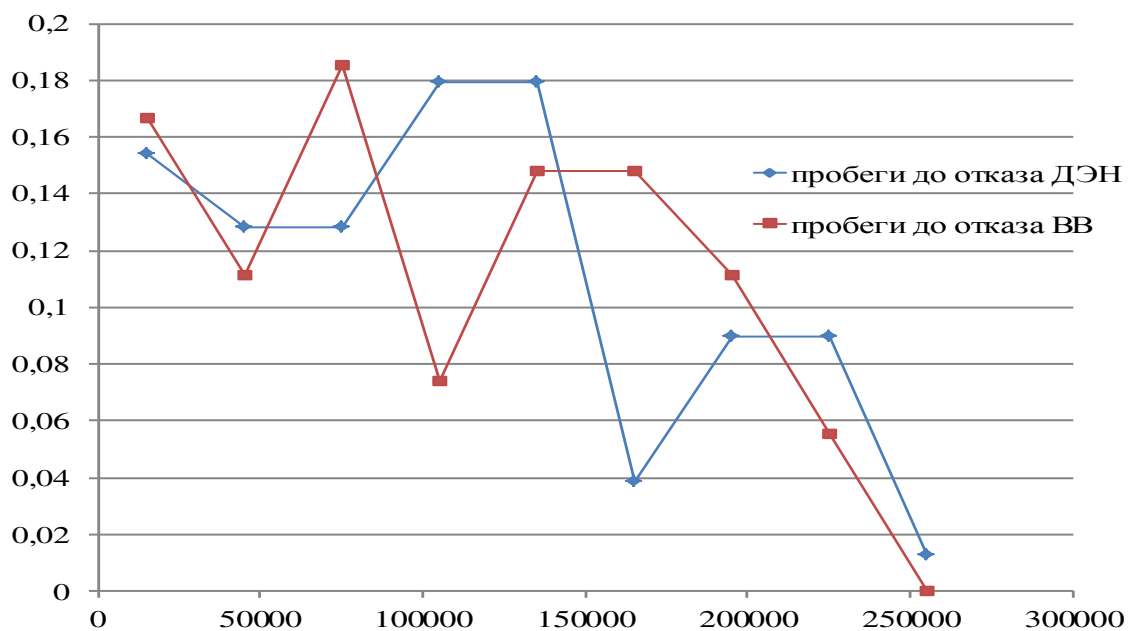


Рис. 2. Сравнение выборок пробегов до отказа АКВ ДЭН и ВВ

Анализ бортовых журналов ТУ-28 показывает, что наиболее частыми причинами отказов при данных значениях пробегов являются:

- Выброс масловоздушной смеси.
- Низкое качество изготовления комплектующих частей.
- Ошибки локомотивных бригад.
- Неадаптированность к суровым климатическим условиям.
- Напряженный режим работы компрессорных установок.

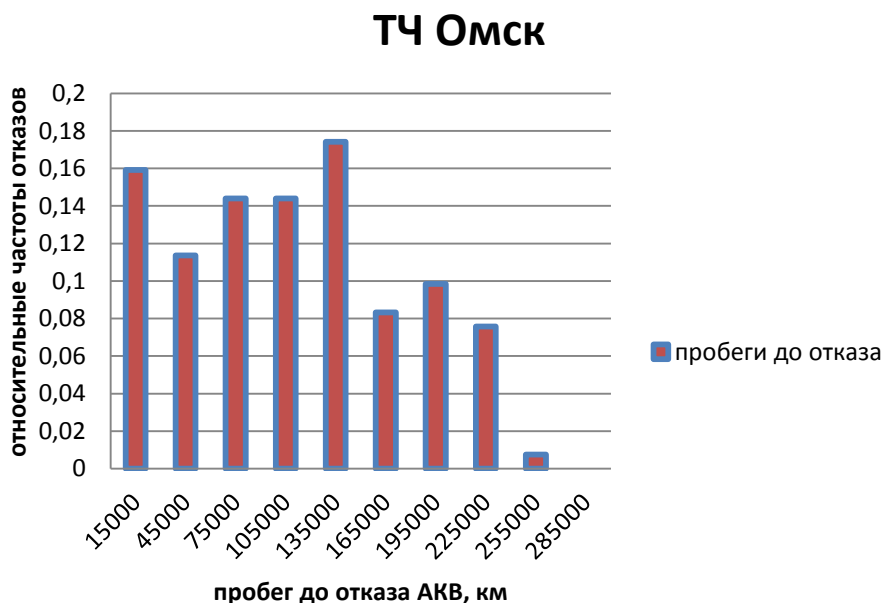


Рис. 3. Гистограмма интенсивности отказов по материалам депо Омск

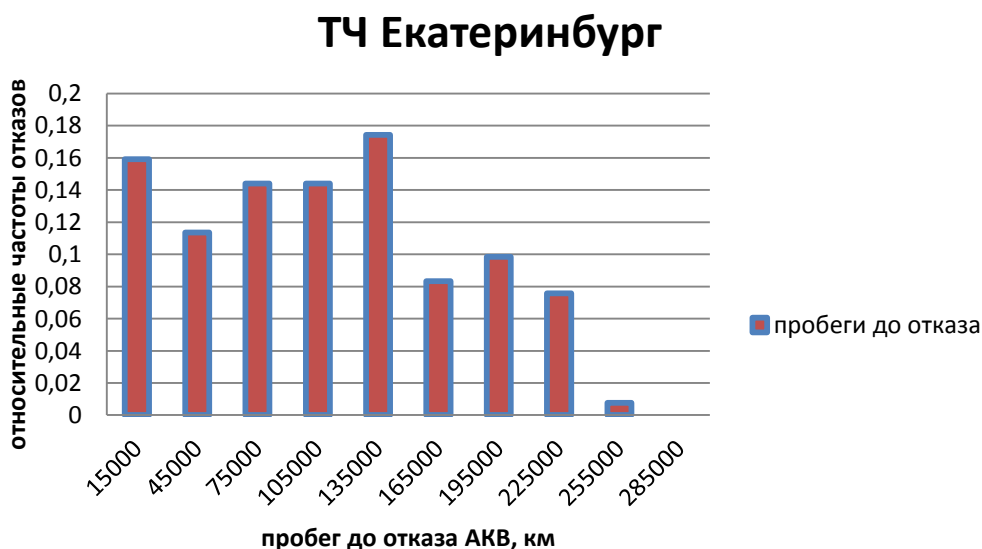


Рис. 4. Гистограмма интенсивности отказов по материалам депо Екатеринбург

Сложившаяся ситуация требует системы технического обслуживания по текущему состоянию конкретного агрегата, что позволит снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание, а также увеличить межремонтный пробег. Таким образом, безотказность электровоза достигается соответствующим качеством и долговечностью комплектующих элементов, своевременным обнаружением и устранением повреждений, соблюдением правил эксплуатации.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ РЕМОНТЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

УДК 621.313.2

В. В. Харламов, П. К. Шкодун, А. С. Огневский

ВЫБОР ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УЗЛА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье проведен анализ статистических данных по отказам оборудования электровозов серии 2ЭС6, обозначены основные причины выхода из строя тяговых двигателей, предложена схема системы мониторинга технического состояния тяговых электродвигателей.

В настоящее время на железнодорожном транспорте актуальной является задача повышения надежности работы подвижного состава. На основе статистических данных по отказам оборудования электровозов серии 2ЭС6 в 2016 году, предоставленных Западно-Сибирским управлением сервиса ООО «СТМ-Сервис», построена диаграмма распределения отказов оборудования электровозов (рис. 1). Из диаграммы видно, что отказы тяговых двигателей составляют до 22% от общего числа отказов оборудования, что является самым высоким показателем среди узлов электровоза.

Причинами большого количества отказов ТЭД на электровозах 2ЭС6 являются: особенности схемного решения «независимого» возбуждения ТЭД и недостатки в конструкции ТЭД, а также особенности обеспечения требуемого уровня сервисного обслуживания, которое усугубляется большим количеством применяемых типов ТЭД (ЭДП-810У1 производства «Электротяжмаш» г. Харьков, ДПТ-8102У1 производства ОАО «КЭМЗ» г. Карпинск, СТК-810У1 производства ОАО «НПП «СЭМЗ» г. Смела, ЭК-810Ч производства ЗАО «ПК «ЗТЭО» г. Набережные Челны) на электровозе.

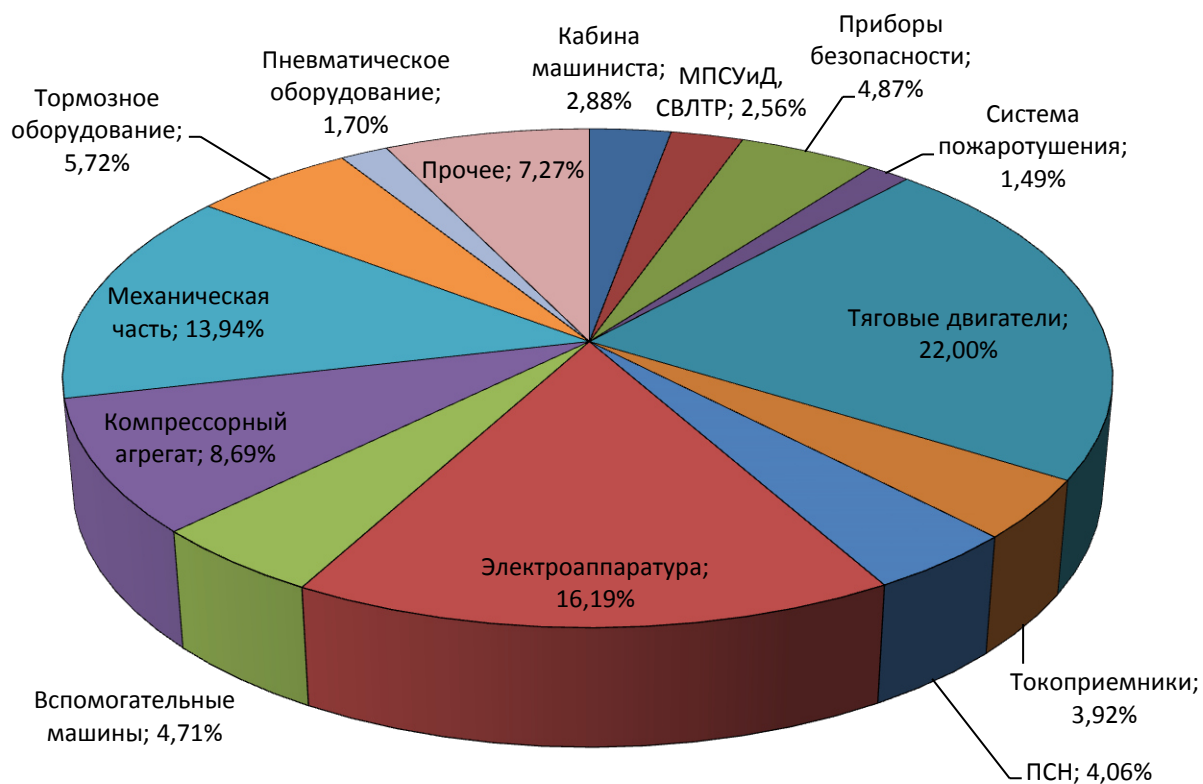


Рис. 1. Диаграмма распределения отказов оборудования электровозов 2ЭС6 в 2016 году

Информация о распределении отказов ТЭД для всего парка электровозов 2ЭС6 представлена в табл. 1.

На всех четырех типах тяговых электродвигателей электровоза 2ЭС6 наблюдаются однотипные неисправности на протяжении всего периода эксплуатации. Отказы ТЭД в основном характеризуются снижением сопротивления и пробоем изоляции двигателя, а также возникновением кругового огня на коллекторе.

В период с 25 января по 5 марта 2017 г. Омский государственный университет путей сообщения выполнил экспериментальные исследования тяговых электродвигателей (ТЭД) ЭК810Ч электровоза 2ЭС6 с электрическими щетками типов EG8220, ЭГ-61А, ЭГ-61АК, Е61А62.

Испытания проводились в СЛД «Московка» с использованием комплекта измерительного оборудования ОмГУПСа в стационарном режиме работы ТЭД только при последовательном возбуждении при номинальном часовом токе, номинальной и повышенной частотах вращения для обоих направлений

вращения якоря. Технические возможности испытательной станции СЛД «Московка» не позволили провести испытания тяговых электродвигателей при «независимом» возбуждении согласно схеме подключения, используемой на электровозе 2ЭС6, а также коммутационные испытания с подпиткой/отпиткой добавочных полюсов.

Таблица 1

Распределение отказов ТЭД всего парка электровозов 2ЭС6

Причина или характер неисправности	Количество отказов
Снижение сопротивления изоляции	680
Перебросы электрической дуги (круговой огонь)	179
Пробой изоляции обмоток якоря	106
Установка нетиповых (некачественных) щеток	96
Прогар конуса якоря	61
Пробой изоляции обмотки возбуждения	57
Предельный износ щеток	54
Пробой изоляции компенсационной обмотки	38
Неисправность щеткодержателя	28
Задир коллектора	28
Нарушение изоляции выводных кабелей	14
Нарушение целостности смотрового люка	14
Отгар кабеля межкатушечного соединения	12
Размотка бандажа якоря	12
Пробой дополнительных полюсов	11
Трещины бобышек подшипникового щита	9
Термическое повреждение подводящих кабелей	9
Излом наконечника подводящего кабеля	7
Повреждение МЯП	4
Ослабление дополнительных полюсов	3
Пробой главных полюсов	2
Заклинивание/разрушение МЯП	1
Прочее	209
Итого	1634

Регистрация параметров искрения щеток и состояния поверхности коллектора тяговых двигателей осуществлялась комплектом измерительного оборудования, разработанного сотрудниками кафедры «Электрические машины и общая электротехника» ОмГУПСа, включающего в себя: приборы ПКК–5, ПКП–4М и микроконтроллерное устройство сбора и обработки информации. Температура элементов коллекторно-щеточного узла в процессе испытаний регистрировалась с помощью тепловизора TESTO-875.

Кроме того, дополнительно были сняты вольт-амперные характеристики указанных выше марок щеток на стенде кафедры «Электрические машины и общая электротехника» ОмГУПСа.

Анализ статистических данных показал, что одной из причин значительного числа отказов ТЭД ЭК-810 является возникновение перебросов и круговых огней по коллектору. Возникновение кругового огня на коллекторе может происходить в следствие ряда причин, таких как броски напряжения, вибрация, наличие пыли и влаги в вентиляционном воздухе, неудовлетворительное состояние профиля коллектора. Значительное влияние при этом могут оказать и искажения магнитного поля в переходных режимах и режимах повышенных нагрузок, при «независимом» возбуждении двигателя, что подтверждается в исследованиях авторов [1]. Настройка коммутации тягового двигателя осуществляется в условиях депо в стационарном режиме. В эксплуатации же двигатель испытывает значительные нагрузки и работает в непрерывных переходных режимах [2]. Указанные факторы приводят к появлению неидентичности коммутационных циклов по коллектору и во времени, что, в свою очередь, вызывает появление искрения. При определенной совокупности и продолжительности воздействия этих факторов возникает круговой огонь по коллектору [3].

Для решения задачи совершенствования текущего контроля ТЭД необходимо разработать систему мониторинга, позволяющую фиксировать его параметры в процессе эксплуатации. Такая система позволит выявлять зависимость состояния коммутации от параметров ТЭД. Кроме того, будут получены данные о характере работы ТЭД в эксплуатации, что позволит разработать более совершенную систему испытаний ТЭД, позволяющую проводить испытания не только при последовательном возбуждении, но и при «независимом» возбуждении, соответствующем схеме подключения,

используемой на электровозе 2ЭС6. Таким образом, появится возможность прогнозировать возможные отказы и снизить число внеплановых ремонтов неисправных узлов ТЭД.

На начальном этапе создания системы мониторинга необходимо выбрать диагностические параметры, которые будут в достаточной степени отражать состояние КЩУ ТЭД и являться доступными для измерения. Такими параметрами являются: питающее напряжение U , ток якоря I_a , ток возбуждения I_e , частота вращения двигателя n , а также параметры, характеризующие интенсивность искрения по недокоммутированным секциям и интенсивность по перекоммутированным секциям, такие как среднее значение интенсивности искрения $I_{ср}$, среднеквадратичное отклонение (СКО) по коллектору σ_k и СКО по времени σ_e [4]. Измерение данных параметров позволит выявить зависимость условий коммутации от режимов работы ТЭД.

Структурная схема системы мониторинга технического состояния КЩУ ТЭД представлена на рис. 2.

Измерение таких параметров как питающее напряжение U , ток якоря I_a , ток возбуждения I_e и частота вращения возможно без вмешательства в конструкцию двигателя. Эти параметры будут измеряться и записываться в микроконтроллерное устройство. Для измерения параметров интенсивности искрения ТЭД необходимо использовать прибор контроля коммутации ПКК. В качестве датчика такого прибора можно использовать емкостной датчик [3], либо использовать сигнал с разнополярных щеток. Преимуществом емкостного датчика является простота его установки без изменения конструкции ТЭД.

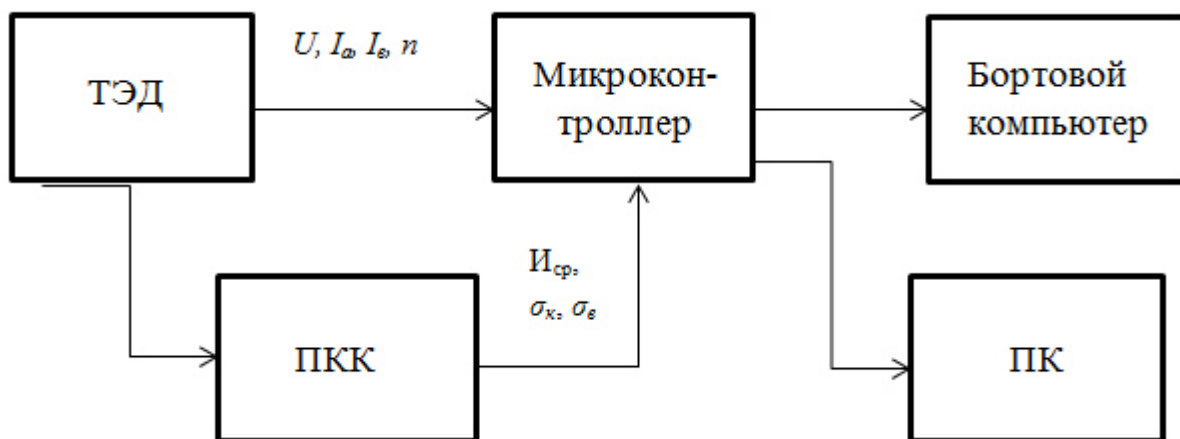


Рис. 2. Структурная схема системы мониторинга технического состояния КЩУ ТЭД

Параметры ТЭД, поступающие на микроконтроллер, будут обрабатываться и выводиться на бортовой компьютер, где машинист сможет следить за условиями работы двигателей и оценивать их работоспособность. Кроме того, после поездки полученные данные могут быть использованы для анализа технического состояния ТЭД, выявления неисправностей и прогнозирования его срока службы.

Таким образом, снижается вероятность внезапного отказа ТЭД, что снижает затраты на внеплановые ремонты, и исключается необходимость планово-предупредительного ремонта исправных ТЭД, что также снижает затраты на ремонт. Кроме этого, появляется возможность накопления статистических данных, при анализе которых можно выявить зависимости между параметрами ТЭД и интенсивностью искрения. Эти зависимости позволят разработать более совершенную программу испытаний ТЭД, позволяющую испытывать двигатели в условиях более приближенным к реальным, что, в свою очередь, снизит вероятность пропуска неисправного ТЭД в эксплуатацию.

Список литературы

1. Авилов, В. Д. Методы анализа и настройки коммутации машин постоянного тока / В. Д. Авилов – М.: Энергоиздат, 1995. – 237 с.
2. Анализ переходных процессов тяговых электрических двигателей электровозов с учетом условий эксплуатации / В. В. Харламов, П. К. Шкодун // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – № 4. – С. 72 – 74.
3. Харламов, В. В. Методы и средства диагностирования технического состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей и других коллекторных машин постоянного тока: Монография / В. В. Харламов // Омский гос. Ун-т путей сообщения. Омск, 2002. – 233 с.
4. Повышение достоверности диагностирования коллекторно-щеточного узла электрических машин с учетом неидентичности коммутационных циклов [Текст] / В. В. Харламов, Д. И. Попов // Омский научный вестник. Электротехника. Энергетика. Ч. 1. – 2016. – №4 (148). – С. 65–69.

А. В. Горькин

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В статье рассмотрены вопросы диагностирования технического состояния и оценки остаточного ресурса быстродействующих выключателей и внесены предложения по изменению критериев оценки их параметров с учетом износа их дугогасящих контактов. Сделаны выводы о возможности и целесообразности увеличения межремонтного интервала для быстродействующих выключателей.

Увеличение числа отключений быстродействующих выключателей (БВ), вследствие развития скоростного и тяжеловесного движения железнодорожного транспорта, ведет к повышению эксплуатационных затрат на обслуживание и капитальный ремонт выключателей и, в свою очередь, влияет на эффективность перевозочного процесса. Поэтому, остро стоят проблемы своевременного контроля за техническим состоянием БВ и чрезмерно малого межремонтного интервала при их эксплуатации. В настоящее время точность оценки состояния БВ по техническому состоянию весьма низкая, т.к. фактически, контролируются только три параметра: коммутационный ресурс по току, механический ресурс, а также недовключенное положение БВ. Причем критерии всех параметров установлены для всех типов выключателей одинаковые [1].

Для разработки и определения недостающих критериев на тяговых подстанциях был проведен экспериментальный анализ состояния сдвоенных БВ типа ВАБ-43-4000 и ВАБ-49-3200 методом наработки на отказ, с помощью цифровых терминалов защит контактной сети ЦЗАФ-3,3 [2]. Результаты экспериментальной оценки ресурса быстродействующих выключателей:

1. При использовании применяемой методики оценки ресурса БВ существует большая диспропорция по существующим критериям коммутационного и механического ресурса: на один текущий ремонт по

критерию коммутационного ресурса приходится 16 ремонтов по механическому.

2. Механический ресурс следует исключить из списка диагностируемых параметров БВ, или согласовать его критерии со значениями коммутационного ресурса, либо механического, т.к. в ГОСТ 2585-81 [3] указано, что данный показатель должен иметь значение не менее 20000 циклов «включено – отключено»

3. Наблюдаемый вдвоенный выключатель на ТПС Таскаево без ремонта, как такового, выдержал 1335 отключений и продолжает находиться в работе. Суммарное количество электричества отключенного БВ-1 и БВ-2 составило 42,72 кА·с и 58,59 кА·с соответственно; пропорциональны этим значениям и данные полученные с выключателей ТПС Гусиный Брод.

4. Контролируемые параметры выключателей [4] находятся в пределах допустимого, кроме размеров дугогасительных контактов. У них наблюдается незначительное отклонение от допустимых значений. Что, если судить по практически отсутствующему износу главных контактов и малому времени гашения дуги, не влияет на работу выключателей.

5. Разница суммарного количества электричества отключенного БВ-1 и БВ-2 составила $|42,72 - 58,59| = 15,87$ кА·с, что соответствует примерно 0,6 мм высоты объема вынесенного металла с дугогасительных контактов выключателей. Т.е. количество электричества отключённого БВ2 на 37% больше чем БВ1, что за 1335 отключений привело к разнице износа подвижных дугогасительных контактов примерно в 0,6 мм.

Таким образом, проведенная экспериментальная оценка технического состояния быстродействующих выключателей показала, что требования [4, 5, 6], для коммутационного и механического ресурсов, не являются объективными и нуждаются в корректировке после проведения соответствующего теоретического обоснования.

По итогам экспериментальной оценки выработанного ресурса выключателей на тяговых подстанциях (ТПС) Таскаево и Гусиный Брод, и результатам анализа нормативов технического обслуживания и контроля выработанного ресурса БВ, при их эксплуатации, очевидно, что необходимо изменить критерии оценки их ресурса, что, в свою очередь, приведет к уменьшению периодичности межремонтных испытаний.

Кроме того, необходима замена параметра для оценки коммутационного ресурса – вместо суммы тока нужно использовать количество электричества. Существенный недостаток использования такого параметра для сдвоенных выключателей как сумма тока заключается в том, что по одному значению контролируются два БВ, что приводит к необъективной оценке их коммутационного ресурса. И если в течение года разность показаний для БВ сдвоенных выключателей может быть незначительной, то при увеличении межремонтных сроков в разы эта разница может стать уже существенной. Так, например, для БВ Ф2 ТПС Таскаево разница в количестве электричества отключенного БВ1 и БВ2 достигает 50% относительно первого выключателя.

Для оценки неодновременности срабатывания последовательно включенных выключателей предполагается, на основании результатов экспериментальной и теоретической оценки износа выключателей, использовать не энергию, рассеиваемую в камерах выключателей, а количество электричества прошедшее через контакты БВ. В [2, 7] было определено, что количество электричества отключенного БВ2 Ф2 ТПС Таскаево на 37% больше чем БВ1, что за 1335 отключений привело к разнице износа подвижных дугогасительных контактов примерно в 0,6 мм. Если ориентироваться на 500 отключений в качестве критерия по механическому ресурсу, то в этом случае разница в износе составила бы около 0,2 мм, что для межремонтного периода не является критичным. Причем, разница в значениях отключенного количество электричества БВ2 и БВ1 в 37% соответствовала примерно трем миллисекундам по разновременности появления напряжения на контактах выключателей. Разновременность пять – шесть миллисекунд приведет уже к разнице, в значениях отключенного количество электричества, около 50-60%. Поэтому в качестве критериев для оценки неодновременности срабатывания последовательно включенных выключателей можно ориентироваться на следующие значения: при относительной разнице более 30% между значениями этого параметра для БВ1 и БВ2 сдвоенного выключателя система технической диагностики должна будет сформировать предупредительный сигнал, а более 50% – аварийный. Увеличение значение аварийной сигнализации нежелательно, т.к. в этом случае разница во времени между срабатыванием БВ1 и БВ2 составит уже более пяти – шести миллисекунд, что будет означать,

фактически, приближение одного из БВ сдвоенного выключателя к одиночной работе.

Параметры БВ, которые необходимо контролировать и их критерии оценки, сведены в таблицу 1.

Выводы:

– для параметра коммутационного ресурса предлагается контролировать количество электричества (кА·с) вместо суммы тока (кА), что позволит оценивать техническое состояние каждого БВ сдвоенного выключателя по отдельности;

– определены критерии и диапазон их изменений для четырех из семи параметров установленных в [4]: коммутационный ресурс; механический ресурс, время гашения дуги, неодновременность срабатывания выключателей сдвоенных БВ.

– возможно увеличение периодичности межремонтных испытаний для БВ, что позволит сэкономить материальные и людские ресурсы.

Таблица 1

Диагностируемые параметры и их граничные значения

№ п.п.	Параметр	Критерий	Тип сигнализации	Диапазон изменения уставок критерия
1	Коммутационный ресурс по току	20 кА·с.	90% – предупредительная; 100% – аварийная.	От 10 до 40 кА·с, с шагом 1 кА·с.
2	Механический ресурс	500 отключений		От 50 до 1000, с шагом 10.
3	Коммутационный ресурс по суммарной коммутируемой энергии	<i>критерий не определен</i>		от 1 до 40 МДж, с шагом 200 кДж
4	Время гашения дуги	25 мс.		От 10 до 50 мс, с шагом 1 мс.
5	Величина отклонения фактического тока отключения от тока уставки	10%.	100% – аварийная.	от 5 до 20%, с шагом 1%
6	Недовключенное положение выключателя	0,5 с.		–
7	Неодновременность срабатывания выключателей	20%, 50%.	20% – предупредительная; 50% – аварийная.	от 10 до 70%, с шагом 5%

Список литературы

1. Горькин, А. В. Диагностика быстродействующих выключателей тяговых подстанций, оборудованных системой технического диагностирования / А. В. Горькин // Мат. всероссийской науч.-тех. конф. «Метрологическое и нормативное обеспечение качества и безопасности продукции». – Омск: ОмГУПС. – 2014. – С. 165 – 171.
2. Горькин, А. В. Обоснование увеличения межремонтных интервалов при эксплуатации быстродействующих выключателей постоянного тока тяговых подстанций, оборудованных системой технической диагностики / А. В. Горькин, А. М. Сапельченко, К. В. Писарев // Межвуз. тематич. сб. науч. трудов. «Электроснабжение железных дорог». – Омск: ОмГУПС. – 2016. – С. 6 – 10.
3. ГОСТ 2585-81 «Выключатели автоматические быстродействующие постоянного тока. Общие технические условия».
4. Правила содержания тяговых подстанций, трансформаторных подстанций и линейных устройств системы тягового электроснабжения / ОАО «РЖД» – 2016.
5. Техническое указание о порядке эксплуатации тяговых подстанций, оборудованных системой технического диагностирования. Введено техническим указанием ОАО «РЖД» № ЦЭТ-2 (П-02/04) от 30.03.2004.
6. Техническое указание о внесении изменений в порядок эксплуатации тяговых подстанций, оборудованных системой технического диагностирования. Введено техническим указанием ОАО «РЖД» № ЦЭТ-2/7 от 26.02.2008.
7. Горькин, А. В. Оценка состояния дугогасительных контактов быстродействующих выключателей тяговых подстанций, оборудованных системой технического диагностирования / А. В. Горькин. // Инновационные проекты и новые технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научно-практической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения – Омск. – 2016. – С. 85 – 90.

К. А. Григорьева

АНАЛИЗ РЕГУЛЯТОРОВ МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Рассмотрены факторы, влияющие на работу асинхронных вспомогательных машин электровозов, устройства для регулирования мощности асинхронных двигателей и предложены регуляторы мощности, обеспечивающие непрерывное и полное использование электрического потенциала питающей сети для повышения энергетической эффективности и электромагнитной совместимости.

В настоящее время перед руководством холдинга ОАО «РЖД» поставлена задача повышения безопасности и надежности асинхронных вспомогательных машин (АВМ) при эксплуатации на тяговом подвижном составе.

На железнодорожном транспорте для привода вспомогательных машин используют трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, которые превосходят коллекторные машины по надежности и простоте конструкции, но требуют более сложные преобразователи для регулирования скорости и вращающего момента.

Режим работы и надежность АВМ зависит в большей степени от качества электрической энергии. Особенностью работы трехфазных асинхронных двигателей вспомогательных машин является их электроснабжение однофазным напряжением. Для формирования трехфазного напряжения на зажимах электродвигателей используются системы преобразования числа фаз (СПЧФ) различной конструкции. Одним из показателей качества электрической энергии является отклонение напряжения выше допустимого значения. Отклонение напряжения ухудшает качество работы СПЧФ. Это приводит к пробое изоляции обмоток статора, витковым замыканиям и выплавлению стержней обмотки ротора. Снижение напряжения ухудшает и условия пуска асинхронного двигателя, так как при этом снижается его пусковой момент.

На практике получили широкое применение преобразователи частоты с промежуточным контуром постоянного тока. С помощью управляемого

выпрямителя (УВ) изменяется действующее напряжение на выходе преобразователя частоты (рис. 1) в соответствии с реализуемым законом частотного управления и сигналом задания частоты f . Конденсатором C обеспечивается допустимый уровень пульсаций напряжения в контуре постоянного тока и энергообмен реактивной мощностью с индуктивностью нагрузки автономного инвертора напряжения (АИН) через тиристоры и диоды обратного моста.

Недостатками такого преобразователя является не использование электрического потенциала питающей сети для работы вспомогательных машин во время непроводящего состояния управляемого выпрямителя, а также нелинейное искажение питающего напряжения из-за разницы времени отпирания тиристоров за период коммутации. Это приводит к потреблению дополнительного тока из сети.

Для снижения пусковых токов асинхронных вспомогательных машин, для надежного пуска и устойчивости работы при изменении напряжения в контактной сети в ИрГУПСе разработан преобразователь частоты для управления производительностью группы мотор-вентиляторов электровозов переменного тока, который при ступенчатом снижении частоты и действующего напряжения на обмотках статора ступенчато повышает входное электрическое сопротивление электропривода. [1] Для плавного изменения производительности мотор-вентиляторов можно применять электрические полупроводниковые вариаторы (ЭПВ). В этом случае для непрерывного и полного использования электрического потенциала питающей сети применяется промежуточный накопитель электрической энергии. А от промежуточного накопителя отбор энергии выполняется импульсными способами. Законы частотного управления обеспечиваются соотношением действующего напряжения U и частоты f широтно-импульсным регулированием (ШИР) или широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) с помощью алгоритма управления, введенного в систему управления инвертором (СУИ).

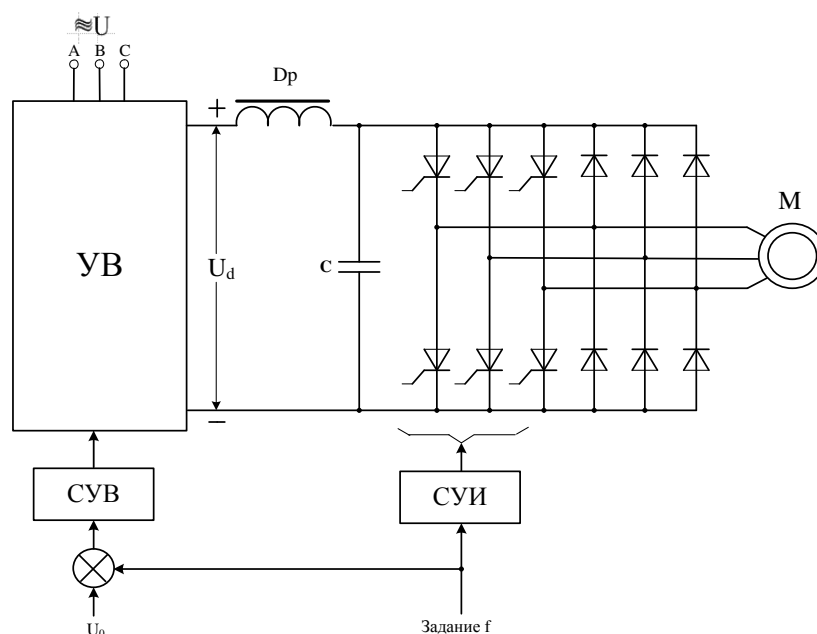


Рис. 1. Автономный инвертор напряжения с управляемым выпрямителем

Широтно-импульсное регулирование частоты и действующего значения напряжения заключается в формировании одного импульса напряжения на выходе инвертора в течение одного полупериода при постоянной амплитуде импульса U . За счет изменения продолжительности полупериодов переменного напряжения регулируется частота, а за счет изменения угла проводящего состояния силовых полупроводниковых приборов инвертора β (рис. 3) в течение полупериода – регулируется действующее значение переменного напряжения на выходе инвертора.

Максимальное действующее значение напряжения получается при $\beta = 180$ эл. градусов. С уменьшением угла проводимости СПП инвертора до $\beta = 0$ действующее значение переменного напряжения снижается до нуля, а паузы между интервалами проводимости СПП увеличиваются. Прямоугольно–ступенчатую форму переменного напряжения (рис. 3) можно разложить в ряд Фурье, который содержит нечетные гармоники. Амплитуда первой гармоники достигает 1,28 от амплитуды прямоугольных импульсов U_m при $\beta = 180$ эл. град и снижается до нуля при $\beta = 0$ эл. град. [2]

Регулирование частоты и действующего значения напряжения с использованием широтно-импульсной модуляции выполняется путем формирования последовательности импульсов различной ширины за

полупериод переменного напряжения. Частота переменного напряжения регулируется изменением длительности полупериодов, а действующее значение переменного напряжения – изменением ширины последовательности импульсов в каждый полупериод переменного напряжения. Широтно-импульсное модулирование выходного напряжения инвертора можно выполнять по синусоидальному закону (рис.4). Для электропривода переменного тока на практике получила применение однополярная реверсивная модуляция (ОРМ).

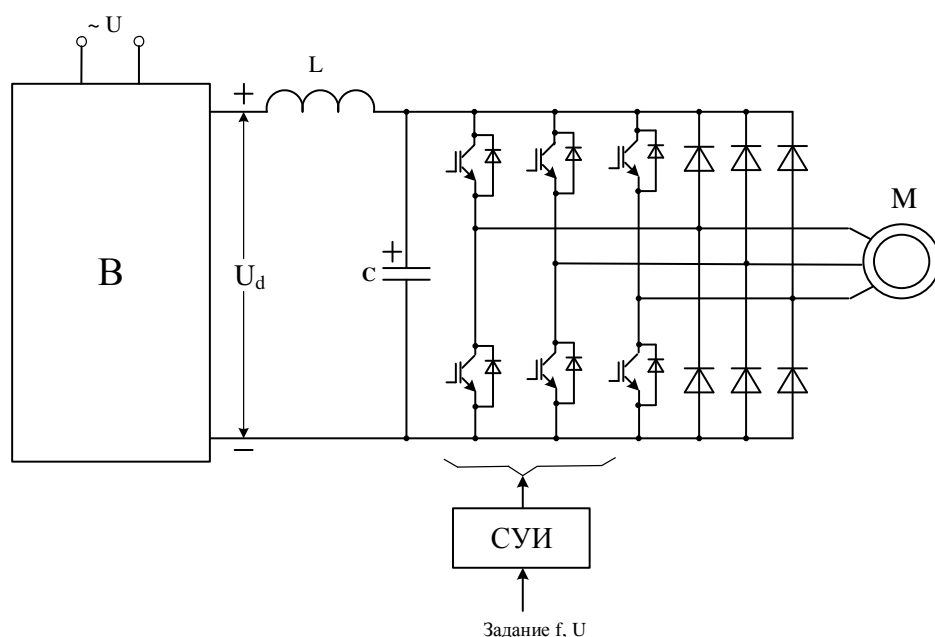


Рис. 2. Преобразователь частоты с импульсной модуляцией СПП.

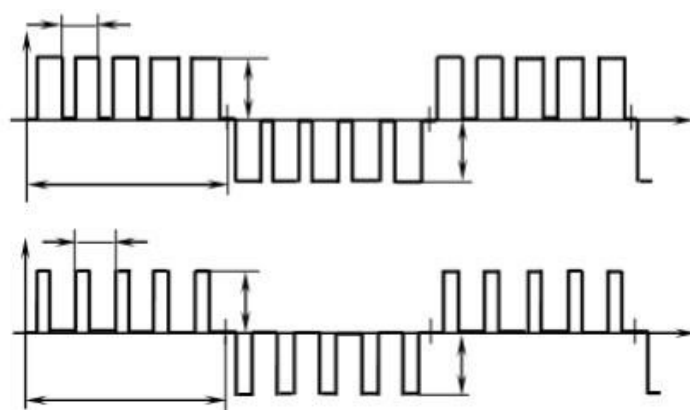


Рис. 3. Временные диаграммы напряжения на выходе однофазного инвертора при широтно-импульсном регулировании

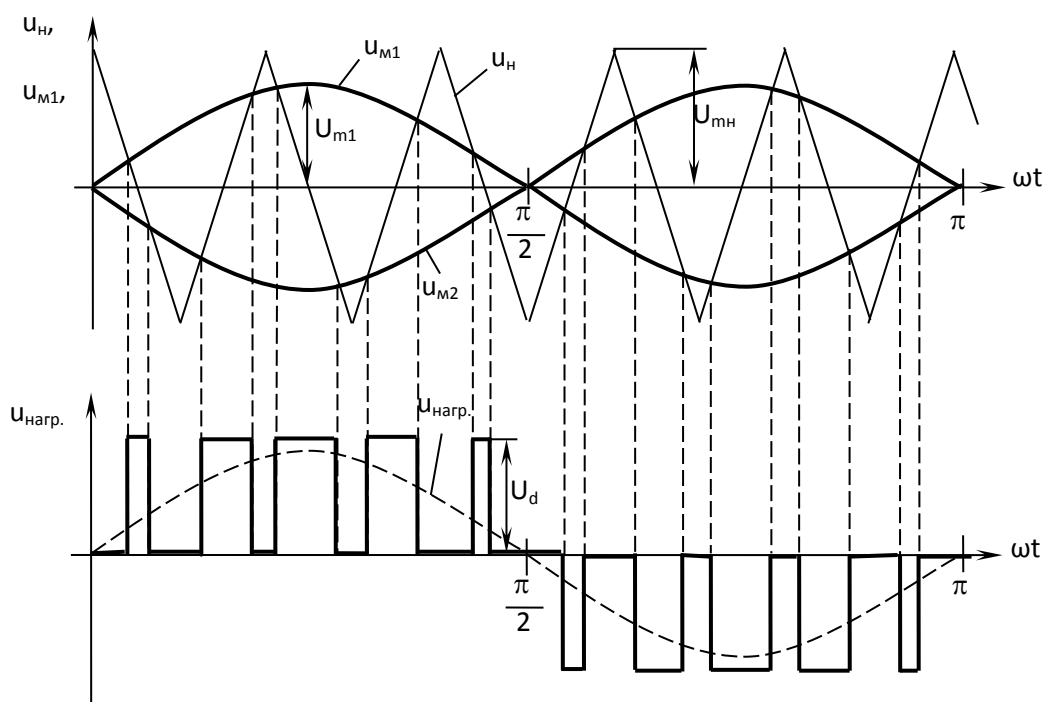


Рис. 4. Временные диаграммы напряжений при реализации широтно-импульсной модуляции

Таким образом данное устройство позволяет непрерывно и полно использовать электрический потенциал питающей сети, поэтому при пуске, трогании и разгоне асинхронных двигателей (АД) используется амплитудное значение переменного питающего напряжения и по мере отбора энергии напряжение на промежуточном накопителе C может снижаться до действующего значения. В известных устройствах, применяемых в настоящее время в России и за рубежом, электрический потенциал начинают использовать от нуля и только при выходе на номинальный режим работы АД используется действующее напряжение питающей сети. В процессе регулирования мощности АД известными устройствами изменяется частота и действующее напряжение на обмотках электродвигателя, а предложенным устройством дополнительно изменяется входное электрическое сопротивление электропривода.

Список литературы

1. Астраханцев, Л. А. Ресурсосберегающее управление технологическими процессами: учебное пособие / Л. А. Астраханцев, Н. Л. Рябченко, Т. Л. Алексеева. – Иркутск: ИрГУПС, 2012. – 130 с.

2. Алексеева, Т. Л. Электронные преобразователи для ресурсосберегающих технологий / Т. Л. Алексеева, Н. Л. Рябченко. – Иркутск: ИрГУПС, 2010. – 240 с.

УДК 621.37

А. А. Елизаров

РЕАЛИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В данной статье представлена информация об актуальности БПФ при диагностировании элементов подвижного состава. Описаны алгоритмы существующих алгоритмов БПФ и проведен их анализ на предмет быстродействия. По результатам анализа рекомендован алгоритм Radix-4.

Для предотвращения отказных состояний подвижного состава, ОАО «РЖД» активно внедряет методы средства диагностики. Например для диагностирования тяговых двигателей применяется программно-аппаратный комплекс ВЕКТОР-2000, а для диагностирования буксового узла колесной пары – система КТСМ. Обе системы выполнены на микропроцессорной базе, в основе которых лежит алгоритм БПФ.

Под названием БПФ скрывается большое количество различных алгоритмов, вычисляющих дискретное преобразование Фурье (ДПФ), каждый из которых имеет свои преимущества. Алгоритм Винограда (Winograd) проводит преобразование с минимальным количеством умножений, а алгоритм tangent FFT имеет минимальное суммарное количество операций сложения и умножения. Наибольшее практическое распространение получили алгоритмы Кули-Тьюки [1].

Рассмотрим реализации алгоритма Кули-Тьюки (Radix-2, Radix-4) и более современные алгоритмы (Split-radix, Conjugate-pair, Tangent).

Radix-2 или иными словами «бабочка» реализует классическую схему вычисления БПФ. Для описания данного алгоритма будем использовать входные данные в виде двух точек, а именно x_1 и x_2 , а в качестве выходных – y_1 и y_2 . Входные и выходные данные связаны между собой формулами 1 и 2, а наглядно операция «бабочка» показана на рис. 1

$$y_0 = x_0 + x_1 \quad (1)$$

$$y_1 = x_0 - x_1 \quad (2)$$

Впервые данный алгоритм был опубликован в работе Кули и Туки в 1965 г. Как пишут авторы, с помощью Radix-2 было выполнено комплексное преобразование массива из 2048 элементов за 10,5мс. В сравнении, алгоритм Даниэльсона-Ланцоса совершает аналогичное вычисление за 140 мин.

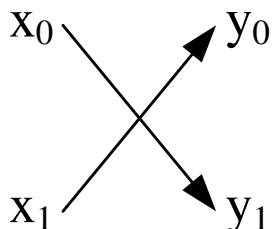


Рис. 1. Алгоритм БПФ по основанию 2 для двух значений

Однако на сегодняшний день Radix-2 имеет не самую лучшую производительность даже при компиляции на современных процессорах. БПФ по основанию 4 (Radix-4), использует меньшее количество поворачивающихся множителей, поэтому число операций в этом алгоритме будет меньше в сравнении с БПФ по основанию 2. Для наглядности на рис. 2 и рис. 3 представлена реализация этих алгоритмов, если исходным данным является массив из шестнадцати элементов.

Алгоритмом с наименьшим количеством операций является Split-radix (рис. 4). Среди множества алгоритмов вычисления БПФ он отличается малой сложностью. Уменьшение сложности сопровождается сохранением многих черт алгоритма БПФ по основанию 2. В частности, на всех этапах алгоритма БПФ по расщепленному основанию используется базовая операция, аналогичная базовой операции алгоритма БПФ по основанию 4. Кроме того, сохраняется возможность расчета ДПФ последовательностей длины 2^n . Тем не менее, управление передачей данных при реализации этого алгоритма затруднено вследствие нерегулярности его этапов [2].

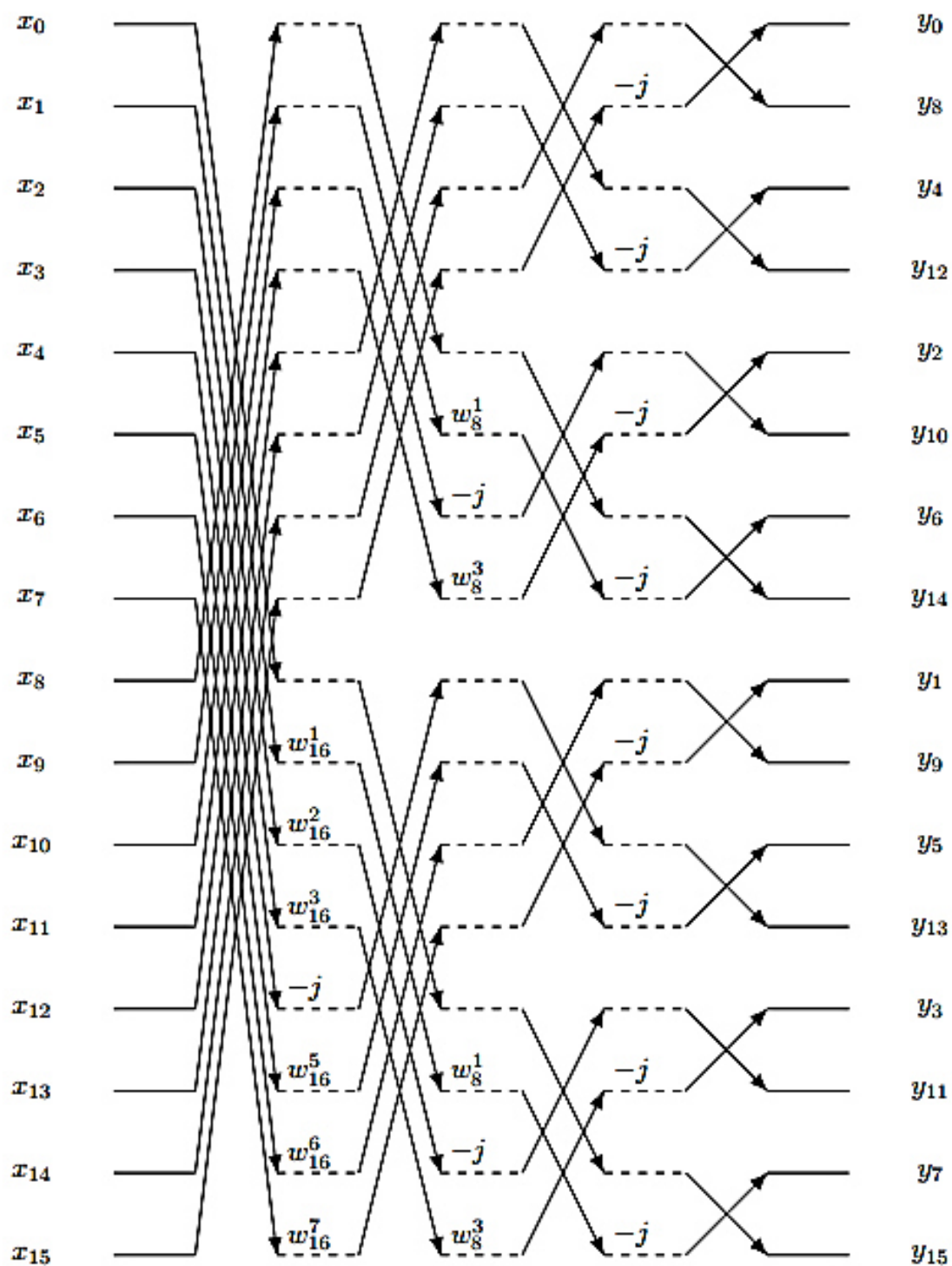


Рис. 2. Реализация БПФ шестнадцати точек алгоритмом Radix-2

Алгоритмы Conjugate-pair [3] и Tangent [4] являются более сложными, так используются более глубокая рекурсия и сокращение комплексных сопряженных поворотных множителей. Детальное описание данных

алгоритмов не помещается в рамках текущей статьи, поэтому в дальнейшем эти алгоритмы используются без теоретического описания.

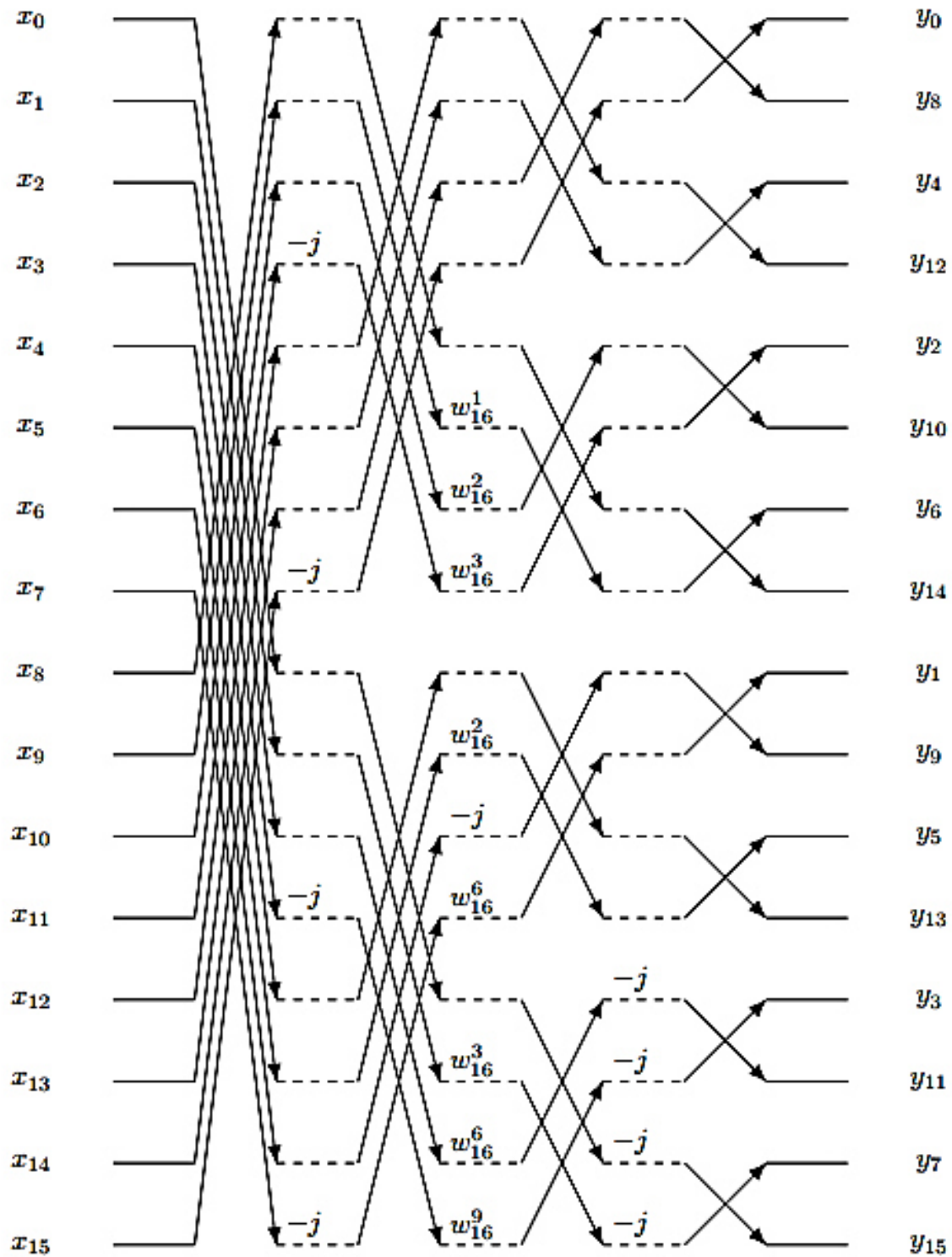


Рис. 3. Реализация БПФ шестнадцати точек алгоритмом Radix-4

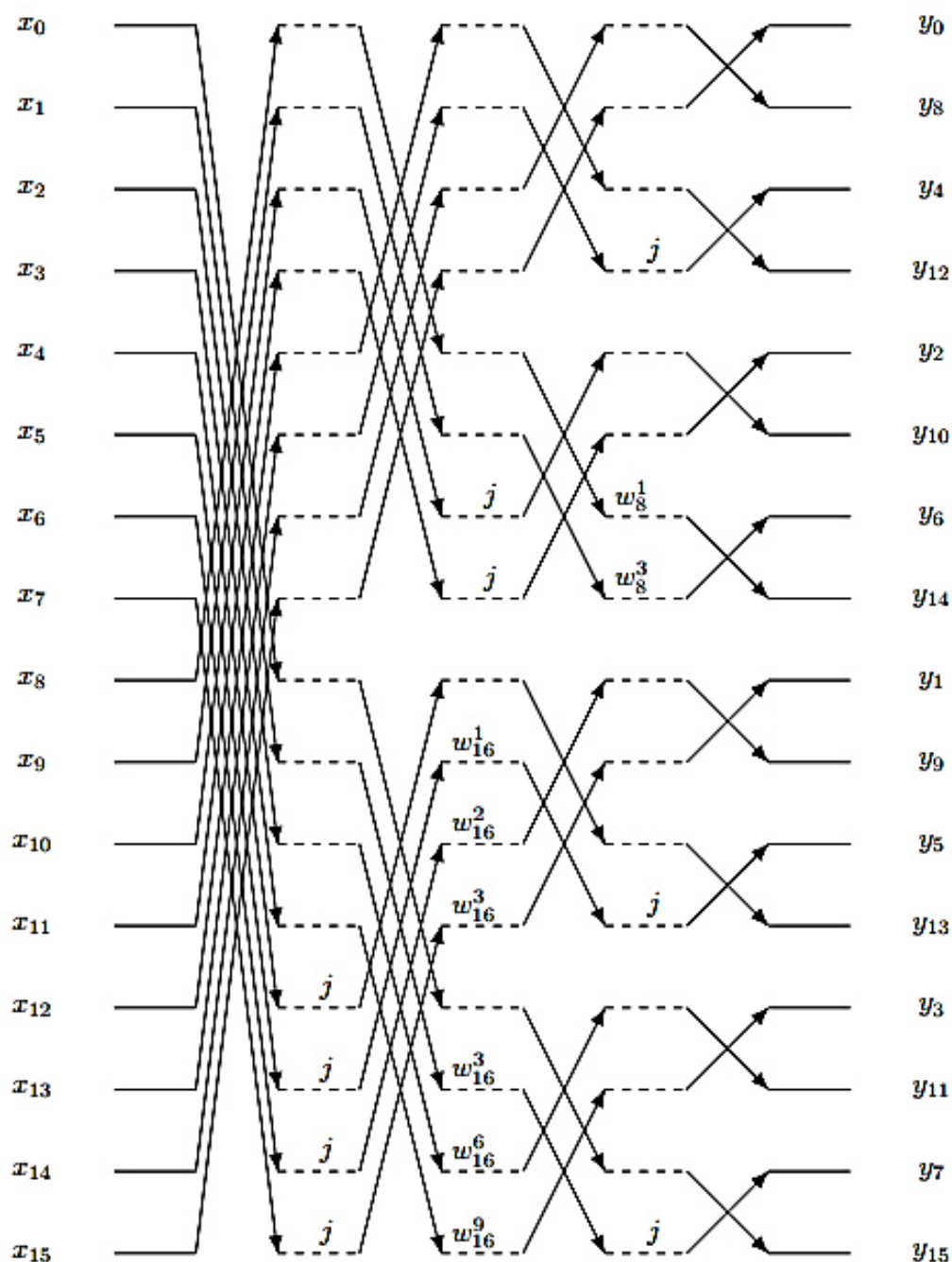


Рис. 4. Реализация БПФ шестнадцати точек алгоритмом Split-radix

Для тестирования каждого алгоритма использовался массив данных из 1024 элементов. Критерием тестирования являлось время, затрачиваемое на обработку входных данных. Для этого с помощью функций `start_time[i]` и `end_time[i]` было измерено время затраченное каждым алгоритмом, на преобразование Фурье входного массива. На рис. 5 приведено измерение

быстродействия алгоритма Radix-2. В данном алгоритме функция вычисляющая данный алгоритм является ditfft2 [5].

```
int main()
{
    data_t mas[1024];
    data_t mas_in[1024];
    data_t mas_otv[128];
    unsigned int start_time[100];
    unsigned int end_time[100];
    unsigned int search_time[100];
    unsigned int sr_time=0;
    for (int i = 0; i <= 127; i++)
    {
        mas[i].imag(0);
        mas[i].real(0);
        mas_in[i].imag(0);
        mas_in[i].real(i + 1);
    }
    cout << "ditfft2" << endl;
    for (int j = 8; j <=128; j*=2){
        for (int i = 0; i <= 99; i++) {
            start_time[i] = clock();
            for (int i = 0; i <= 1000; i++) {
                ditfft2(mas, mas_otv, 1, j);
            }
            end_time[i] = clock();
            search_time[i] = end_time[i] - start_time[i];
            sr_time += search_time[i];
        }
        cout << "N=" << j << " --> " << sr_time / 100 << endl;
        sr_time = 0;
    }
}
```

Рис. 5. Программный код для подсчета времени выполнения функции ditfft2

Результаты измерения представлены в таблице 1 и на рис. 6. Функция ditfft2 вычисляет БПФ по алгоритму Radix-2, функция ditfft4 вычисляет БПФ по алгоритму Radix-4, функция splitfft вычисляет БПФ по алгоритму Split-radix, функция conjfft вычисляет БПФ по алгоритму Conjugate-pair, функция

tangentfft4 вычисляет БПФ по алгоритму Tangent. Для чистоты эксперимента каждая функция была запущена 1000 раз, а результатом эксперимента есть среднее быстроедействие каждого алгоритма при различном количестве точек.

Таблица 1

Быстродействие алгоритмов

Кол-во точек N	Быстродействие 1 измерения функций, мс				
	ditfft2, мс	ditfft4, мс	splitfft, мс	conjfft, мс	tangentfft4, мс
8	17	5	17	9	10
16	54	17	62	30	31
32	153	54	186	85	96
64	394	152	499	221	238
128	959	394	1259	537	593
256	2272	969	3043	1282	1376
512	5279	2283	7029	2989	3191
1024	12059	5278	16317	6782	7187

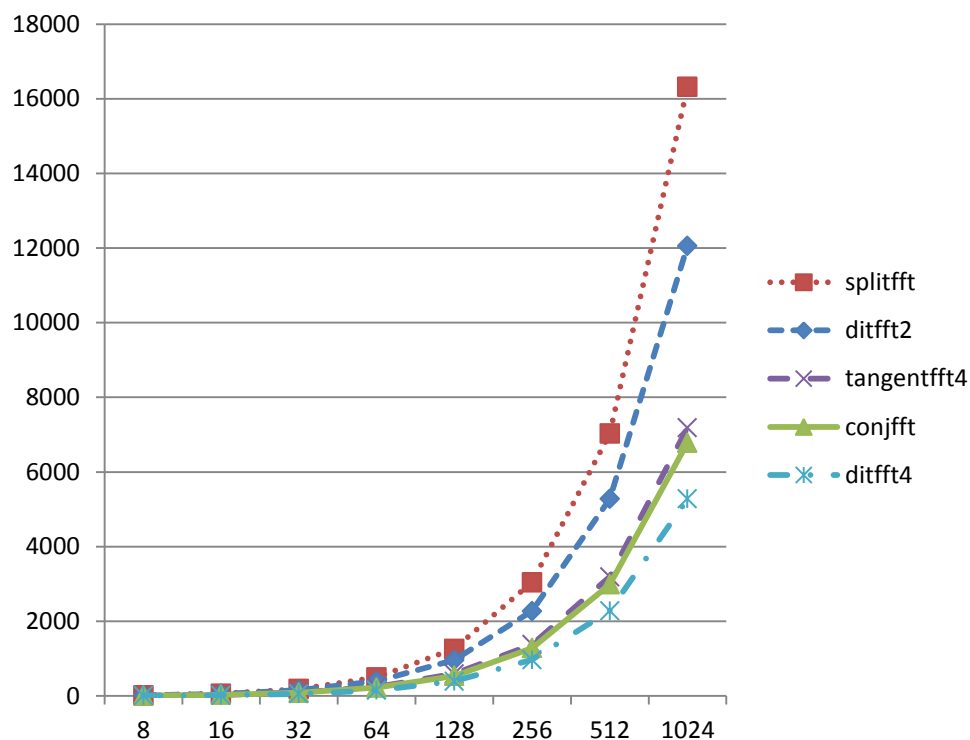


Рис. 6. Время выполнения функции реализации БПФ

В результате можно сделать вывод, что при БПФ массивов данных от 8 до 1024 элементов самыми быстрыми являются алгоритмы Radix-4. Кроме того, эксперимент показал, что малое количество операций алгоритма Split-radix, по

сравнению с приведенными алгоритмами, не дал преимущества в быстрой работе, так как на быстрое действие кода влияют еще такие параметры как количество указателей, эффективность циклов, количество обращения к памяти и т.д.

Таким образом, при диагностировании элементов подвижного состава микропроцессорными системами автором рекомендуется применять в качестве БПФ алгоритм Radix-4.

Список литературы

1. Альтман, Е. А. Оптимизация вычислительной схемы быстрого преобразования Фурье / Е. А. Альтман // Омский научный вестник. 2008. №1(64).
2. Петров, А. А. Параллельно-поточные структуры реализации алгоритмов БПФ по расщепленному основанию / А. А. Петров, С. Л. Шкредов // 3-я Международная Конференция DSPA-2000. СПб.: ЗАО АВТЭКС, 2001.
3. Kamar I., Elcherif Y. Conjugate pair fast Fourier transform. Electronics Letters, 25:324, 1989.
4. Bernstein D. The tangent FFT. Applied Algebra, Algebraic Algorithms and Error-Correcting Codes, pages 291–300, 2007.
5. Blake A. Computing the fast fourier transform on simd microprocessors: дис. Doctor Philosophy Waikato, 2012.

УДК 621.436:629.421

Д. Я. Носырев, А. В. Муратов, Л. С. Курманова, С. А. Петухов

КОНВЕРТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ ПРИ РАБОТЕ С ДОБАВКАМИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В статье рассмотрены перспективы использования природного газа как альтернативного топлива для автономных локомотивов. Показана возможность реализации принципа внутреннего смесеобразования на линии низкого давления с учетом конструктивных и эксплуатационных факторов автономных локомотивов. Предложена система топливоподачи газодизеля с внутренним смесеобразованием.

В современных условиях важным направлением научных исследований является повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. В настоящее время, использование природного газа в качестве моторного топлива на различных видах транспорта является составной частью энергетической стратегии России. Согласно целевой программе «Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации №877-р от 17 июня 2008 г., одним из основных направлений развития ОАО «Российские железные дороги» является снижение расходов на топливо.

Сегодня в России природный газ является основой топливно-энергетического баланса. На его долю приходится более 55% потребления энергоресурсов.

Природный газ (метан) наиболее пригоден для применения на тепловозах. Более того, энергетические и физические характеристики природного газа - повышение по сравнению с дизельным топливом на примерно на 10% массовой калорийности, улучшенные в 1,5 - 2,0 раза экологические качества, увеличение срока работы смазочного масла на 30 - 40% - позволяют получить более высокие экономические, экологические и ресурсные показатели работы тепловозов.

При конвертировании дизелей на альтернативное топливо необходимо учитывать специфический характер работы дизелей тепловозов: частое изменение нагрузки, быстроходность и компактность, особенности техники безопасности и санитарной техники и др. Основной задачей, которую необходимо решить при конвертировании дизелей на альтернативное топливо, является выбор способа смесеобразования и воспламенения топлива.

Природный газ в дизелях можно применять по принципу смешанного или внутреннего смесеобразования.

В первом случае газозоудная смесь создается в смесителе. Вне двигателя и подается в цилиндр до начала такта сжатия, т. е. в цилиндрах сжимается газозоудная смесь (внешнее смесеобразование по газу). Затем в конце такта сжатия в цилиндры впрыскивается дизельное топливо (внутреннее смесеобразование), благодаря самовоспламенению которого, происходит зажигание газозоудной смеси.

Во втором случае при конвертировании дизелей на газ является воспламенение газовой смеси некоторым количеством жидкого топлива. В этом случае при необходимости обеспечивается быстрый переход с газового на жидкое топливо (конвертация), в конструкцию двигателя почти не вносятся существенных изменений. Добавляется лишь газовый смеситель и несколько изменяется система газораспределения. При этом в дизель поступает не воздух, как для воспламенения от сжатия, а газозодушная смесь. Этот способ зажигания наиболее приемлем для транспортных четырехтактных двигателей внутреннего сгорания и известен как газодизельный.

Дизель, конвертированный в двухтопливный двигатель, по сравнению с базовым дизелем имеет следующие особенности:

- потребляет значительно меньше жидкого топлива;
- работает при более высоких значениях коэффициента избытка воздуха;
- характеризуется уменьшенными значениями локальных температур рабочего тела в цилиндре.

Для решения проблемы повышения экономичности тягового автономного подвижного состава при применении альтернативных топлив с учетом конструктивных и эксплуатационных факторов на кафедре «Локомотивы» Самарского государственного университета путей сообщения разработано техническое решение, которое заключается в создании системы подачи, смешивания и дозировании природного газа в дизелях тепловозов.

Реализация принципа внутреннего смесеобразования возможна путем подачи в цилиндры дизельного топлива и природного газа, смешанных на линии низкого давления.

Схема системы топливоподачи газодизеля с помощью которой реализуется принцип внутреннего смесеобразования представлена на рис. 1.

Топливная система дизеля содержит топливные насосы высокого давления 1, топливные форсунки 2, топливный бак 3, топливоподкачивающий насос 4, фильтр грубой очистки 5, фильтр тонкой очистки 6, баллонную рампу, состоящую из не менее трех баллонов 7, фильтр грубой очистки газа 8, редуктор 9, смеситель циркуляционного контура 10, редукционный клапан 11, линия утечки дизельного топлива 12, дизель 13, фильтр тонкой очистки газа 14, электроуправляемый дроссельный расходомер 15, смеситель контура подпитки 16, электроуправляемые клапаны 17, 18, 19, 20, 21, вентили перепуска топлива

22, 23, электроуправляемый клапан рампы 24, топливный подогреватель 25, топливный коллектор 26, подпорный клапан 27, подкачивающий насос смеси 28, расходомер 29, 30, ручные запорные вентили 31, 32, 33, первая пара датчиков температуры и давления 34, 41, вторая пара датчиков температуры и давления 35, 42, третья пара датчиков температуры и давления 36, 43, четвертая пара датчиков температуры и давления 37, 44, пятая пара датчиков температуры и давления 38, 45, шестая пара датчиков температуры и давления 39, 46, седьмая пара датчиков температуры и давления 40, 47, датчик перепада давления 48, блок регистрации и обработки данных 49, блок управления 50.

При работе системы на дизельном топливе, поступающим из топливного бака 3 и проходящим через фильтр грубой очистки 5 и топливоподкачивающий насос 4 с редукционным клапаном 11, поступает на фильтр тонкой очистки 6 через нормально открытый электроуправляемый клапан 20, 21, а электроуправляемые клапаны 17, 18, 19 закрыты. Излишки топлива из топливного коллектора 26 возвращаются в топливный бак, проходя по линии оснащенной подогревателем 25, вентилями перепуска 22, 23 и подпорным клапаном 27. В таком положении система работает только на дизельном топливе.

При переходе на двухтопливную смесь дизельное топливо забирается из бака 3 подкачивающим насосом смеси 28, открывают электроуправляемые клапаны 17, 18, 19 и закрывают электроуправляемые клапаны 20, 21. В качестве второго топлива используется компримированный газ из баллонной рампы 7, которая состоит из не менее трех баллонов со сжатым газом до 300 бар с запорными вентилями 31, 32, 33 на каждом баллоне и электроуправляемым клапаном 24 на выходе баллонной рампы, который соединен с блоком управления 50 и регулируется редуктором 9, с установленной первой парой датчиков 34, 41 в блоке регистрации и обработки данных 49, а электроуправляемым дроссельным расходомером 15, перед которым третья пара датчиков 36, 43 фиксирует показатели температуры и давления, передающиеся через блок регистрации и обработки данных 49, а датчиком перепада давления 48 контролируют подачу газа, проходящего по контуру через фильтр грубой 8 и тонкой 14 очистки, в процентах по отношению к расходу дизельного топлива, поступающего в циркуляционный контур через электроуправляемый клапан 17, а вторая пара датчиков 35, 42 фиксирует

показатели температуры и давления, передающие показания в блок регистрации и обработки данных 49. Расход дизельного топлива измеряется расходомерами 29, 30. Утечки дизельного топлива из топливных форсунок собираются и через линию утечки дизельного топлива 12 поступают в топливный бак.

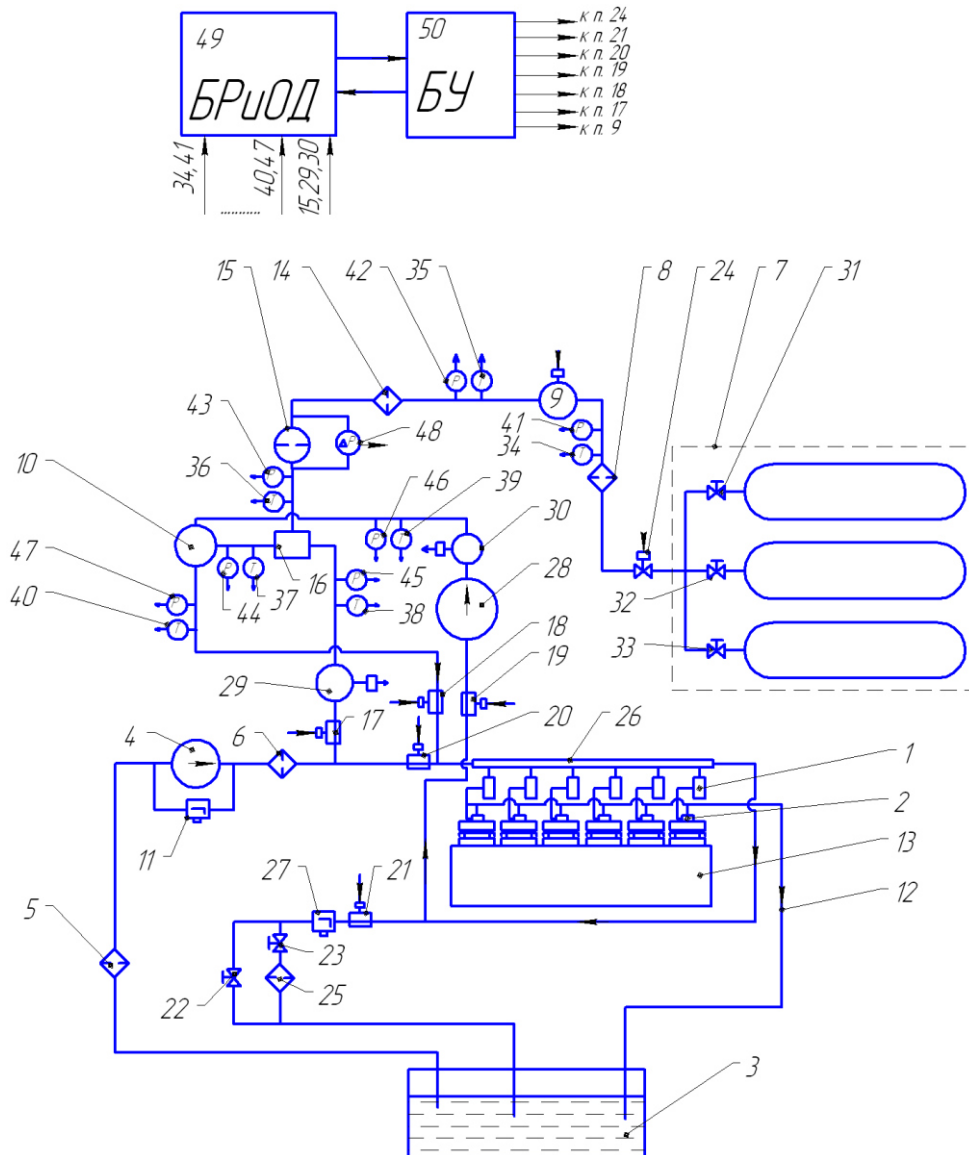


Рис. 1. Система топливоподачи газодизеля с внутренним смесеобразованием

Газотопливная смесь из топливного коллектора 26 подается в топливный насос высокого давления 1 через форсунки 2, частично подается в цилиндры дизеля 13, шестая пара датчиков 39, 46 фиксирует показатели температуры и давления, передающихся через блок регистрации и обработки данных 49. С помощью насоса 28 газотопливная смесь частично возвращается на вход

смесителя контура подпитки 16, пятой парой датчиков 38, 45 фиксируются показатели температуры и давления, передающиеся в блок регистрации и обработки данных 49, а на выходе смесителя контура подпитки подмешивается к газотопливной смеси, поступающей из смесителя циркуляционного контура 10, на выходе которого установлена четвертая пара датчиков 37, 44, которые фиксируют показатели температуры и давления, передающиеся в блок регистрации и обработки данных 49 и через электроуправляемый клапан поступает на вход коллектора. Далее процесс повторяется. Для очистки топливной системы от газотопливной смеси дизель некоторое время работает с таким положением элементов. Затем открывают электроуправляемые клапаны 20, 21 отключают подкачивающий насос смеси 28, закрывают электроуправляемые клапаны 17, 18, 19, а седьмая пара датчиков 40, 47 фиксирует показатели температуры и давления, передающиеся в блок регистрации и обработки данных 49.

Изменение режимов работы системы обеспечивается электроуправляемыми клапанами 17, 18, 19, 20, 21, 24, блоком регистрации и обработки данных 49 и блоком управления 50.

Разработанная система подачи топлива позволяет улучшить смешивание дизельного топлива и компримированного газа до подачи в цилиндры дизеля, снизить расходы на топливо 30-35% и выбросы вредных веществ в окружающую среду, тем самым повысить экономичность и экологичность дизелей тепловозов.

Список литературы

1. Оценка экономичности тягового автономного подвижного состава при использовании природного газа в качестве моторного топлива / Д. Я. Носырев, А. В. Муратов и др. // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 2 (62). – С. 34 – 38.
2. Проблемы и перспективы эксплуатации газотепловозов на Куйбышевской железной дороге – филиале ОАО «РЖД» / Д. Я. Носырев, А. В. Муратов и др. // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 5 (47). – С. 20 – 23.

3. Применение природного газа в локомотивных энергетических установках / Д. Я. Носырев, А. В. Муратов и др. // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 1. – С. 51 – 54.

4. Влияние насыщения дизельного топлива метаном на эксплуатационные показатели тепловозных дизелей / Д. Я. Носырев, А. В. Муратов и др. // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 6 (60). – С. 25 – 28.

5. Носырев, Д. Я. Экспериментальная оценка влияния природного газа на работу дизелей тепловозов / Д. Я. Носырев, А. В. Муратов, Л. С. Курманова// В сборнике: Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов. Материалы третьей Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – С. 124 – 132.

УДК 629.4.015

С. А. Литвин

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ В РЕЖИМЕ ТЯГИ НА СОВРЕМЕННОМ ТЯГОВОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

Работа посвящена проблеме низкой эффективности последовательного возбуждения тяговых электродвигателей подвижного состава. В данной статье предложен независимый способ возбуждения электродвигателей, который позволяет устранить причину проблем использования последовательного возбуждения электродвигателей.

В настоящее время руководством холдинга ОАО «РЖД» поставлена задача по оптимизации процесса ремонта и эксплуатации локомотивов, а также увеличение скоростного и тягового режима электровоза. С использованием независимого возбуждения коллекторных машин в режиме тяги тяжеловесных поездов можно уменьшить межпоездные интервалы, снизить загрузку током тяговых сетей и увеличить производительность железных дорог в целом.

На данный момент разрабатываются и изготавливаются электровозы с последовательным возбуждением тяговых электродвигателей (ТЭД).

Достоинствами данного метода возбуждения являются мягкость характеристик двигателя, приемлемое распределение мощности между всеми ТЭД, способность ТЭД развивать большой электромагнитный момент, обеспечивающий хорошие пусковые свойства. Недостатками данного метода являются плохая управляемость скоростью из-за последовательного соединения обмоток возбуждения и обмоток якоря, низкий момент на высоких оборотах, двигатель выходит из-под контроля при достижении тока возбуждения нулевого значения.

На основании теории энергетических процессов, разработанной в ИрГУПС [1], предложено устройство, позволяющее регулировать ток в обмотке возбуждения каждой машины индивидуально с учетом конструктивных особенностей колесно-моторных блоков, а также состояния пятен контакта колесных пар с рельсами, что определяет качество передачи тягового усилия и склонность привода к срыву в боксование и юз. Корректировкой тока в обмотках возбуждения с учетом разброса параметров колесно-моторных блоков можно выравнивать мощности ТЭД электровоза, увеличивая силу тяги локомотива и обеспечивая энергосбережение при вождении тяжеловесных поездов. Также при независимом возбуждении есть возможность задавать часовой ток в обмотках возбуждения независимо от тока якоря, в связи с чем можно увеличивать вращающий момент ТЭД.

На рис. 1. приведена зависимость силы тяги в функции от скорости скольжения, а также тяговые характеристики при независимом ($F_{\text{кн}}$) и последовательном ($F_{\text{кп}}$) возбуждении. При срыве колес локомотива в боксование (точка О) восстановление сцепления происходит быстрее в случае независимого возбуждения тягового двигателя (точка А), чем при последовательном возбуждении (точка А₁), за счет увеличения силы тяги. В случае значительного уменьшения коэффициента сцепления при последовательном возбуждении тяговых двигателей происходит срыв колесных пар в боксование, а при независимом возбуждении – уменьшение силы тяги на требуемую величину. Положительное свойство независимого возбуждения тяговых электродвигателей позволяет лучше реализовывать силу тяги локомотива, а следовательно, и увеличивать массу состава на 10–15 процентов по сравнению с последовательным возбуждением тяговых электродвигателей. Но привод, построенный на тяговых двигателях с независимым возбуждением,

имеет и ряд недостатков. К ним относятся сложность управления и необходимость подбирать колесно-моторные блоки по параметрам. В процессе эксплуатации значительное влияние на изменение характеристик колесно-моторных блоков оказывает разброс диаметра бандажей колесных пар D (рис. 2), что осложняет использование двигателей с независимым возбуждением в качестве тяговых.

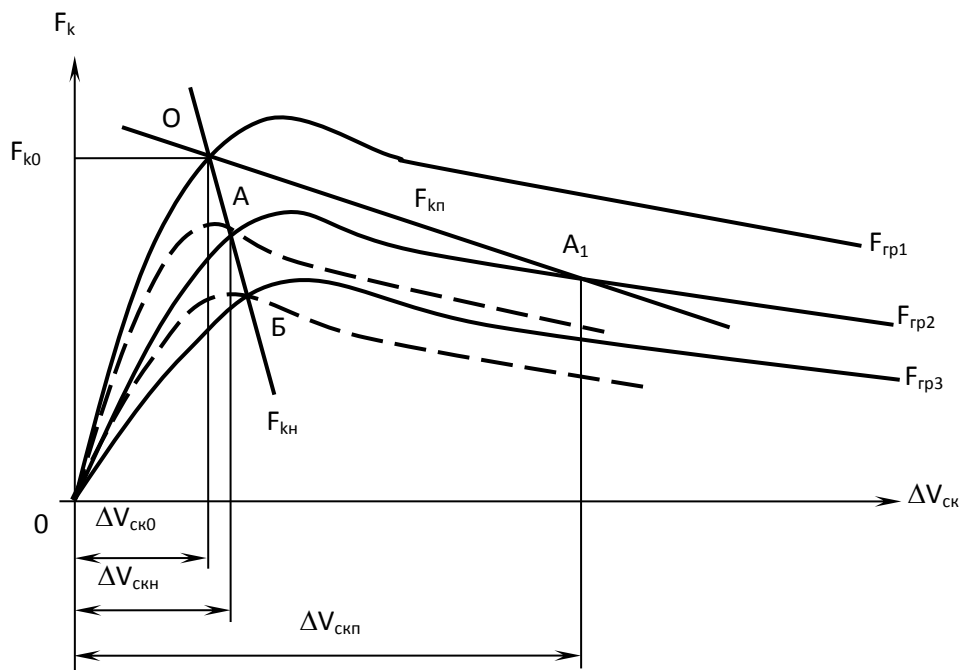
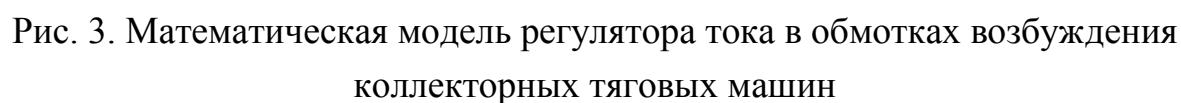
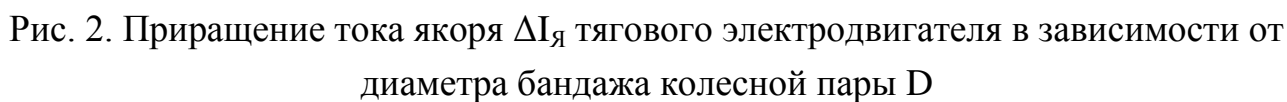


Рис. 1. Зависимость силы тяги F_k от скорости скольжения $\Delta V_{ск}$

Регулятор мощностью 60 кВт подключается к штатной обмотке возбуждения тягового трансформатора грузового электровоза. Регулятор позволяет по сигналам датчика боксования, тока и напряжения выполнять независимую корректировку тока в каждой обмотке возбуждения с целью обеспечения устойчивого сцепления колесных пар с рельсами, выравнивание мощности тяговых машин при разбросе параметров колесно-моторных блоков, снижать расход электрической энергии, увеличивать скорость и массу поездов не менее чем на 10 %. На рис. 3 показана математическая модель регулятора тока. От обмотки возбуждения тягового трансформатора регулятором потребляется ток 230 А, а в 4 обмотках возбуждения тяговых электрических машин протекает номинальный ток 870 А. Ток в обмотках возбуждения можно регулятором синхронно увеличивать и уменьшать от номинальной величины до нуля.



В настоящее время коэффициент пульсаций тока в обмотках возбуждения с питанием от выпрямительной установки возбуждения (ВУВ) составляет 20 %, при внедрении разработанного регулятора уровень пульсаций тока не превышает 2 % (рис. 4). Разработанное устройство позволяет регулировать ток в обмотке возбуждения каждой машины индивидуально с учетом конструктивных особенностей колесно-моторных блоков отдельно, а также состояния пятен контакта колесных пар с рельсами, что определяет качество передачи тягового усилия и склонность привода к срыву в боксование и юз. Техническое решение способствует оптимизации групповой работы тяговых электрических машин при вождении поездов.

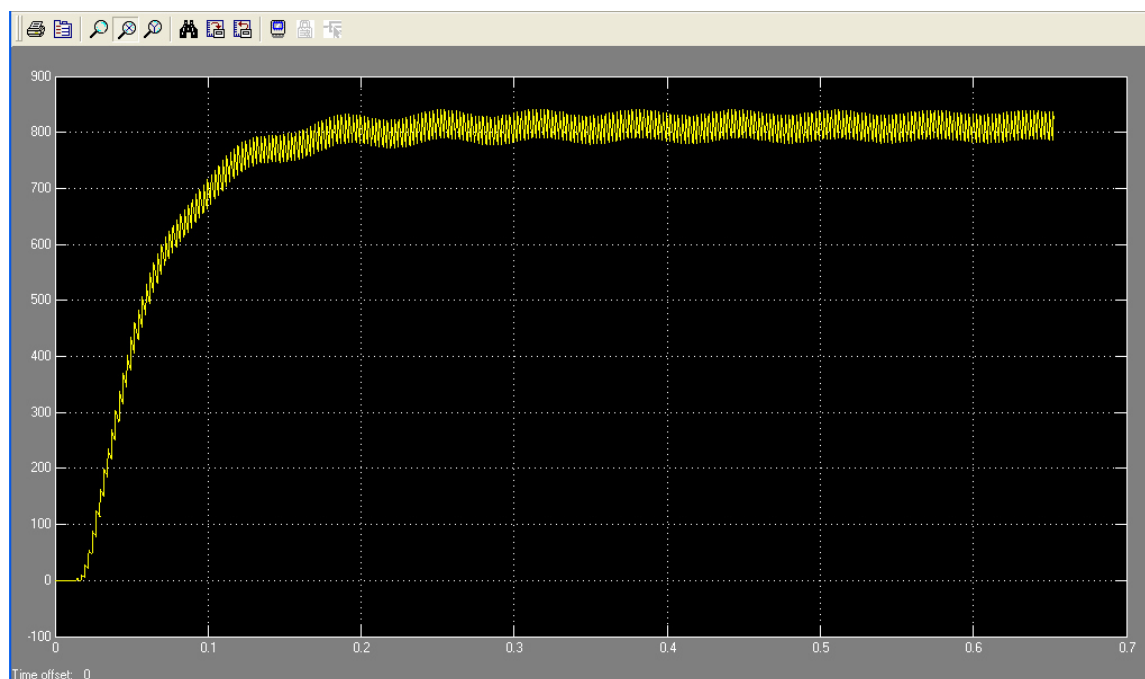


Рис. 4. Осциллограмма тока в одной из обмоток возбуждения

За счет применения регулятора тока для независимого возбуждения электродвигателя в режиме тяги электровоза даже при использовании ВИП для регулирования тока в обмотке якоря можно на 13...16 % снижать ток в I (первой) зоне регулирования (рис. 5), на 16...19 % – во II (второй) зоне регулирования, на 19...24 % – в III (третьей) зоне регулирования и на 23...29 % – в IV (четвертой) зоне регулирования. Потери мощности в силовых цепях ЭПС и в системе электроснабжения из-за снижения тока можно уменьшать на 25–30 % в I-й зоне, на 30–35 % – во II-й зоне, на 35–43 % – в III-й зоне и на 47–50 % – в IV-й зоне регулирования. Энергосбережение достигается за счет независимого

регулирования величины тока в обмотке возбуждения, а одинаковые механические характеристики электродвигателя с последовательным и независимым возбуждением (рис. 5) формируются при меньших углах регулирования тиристоров ВИП. [2]

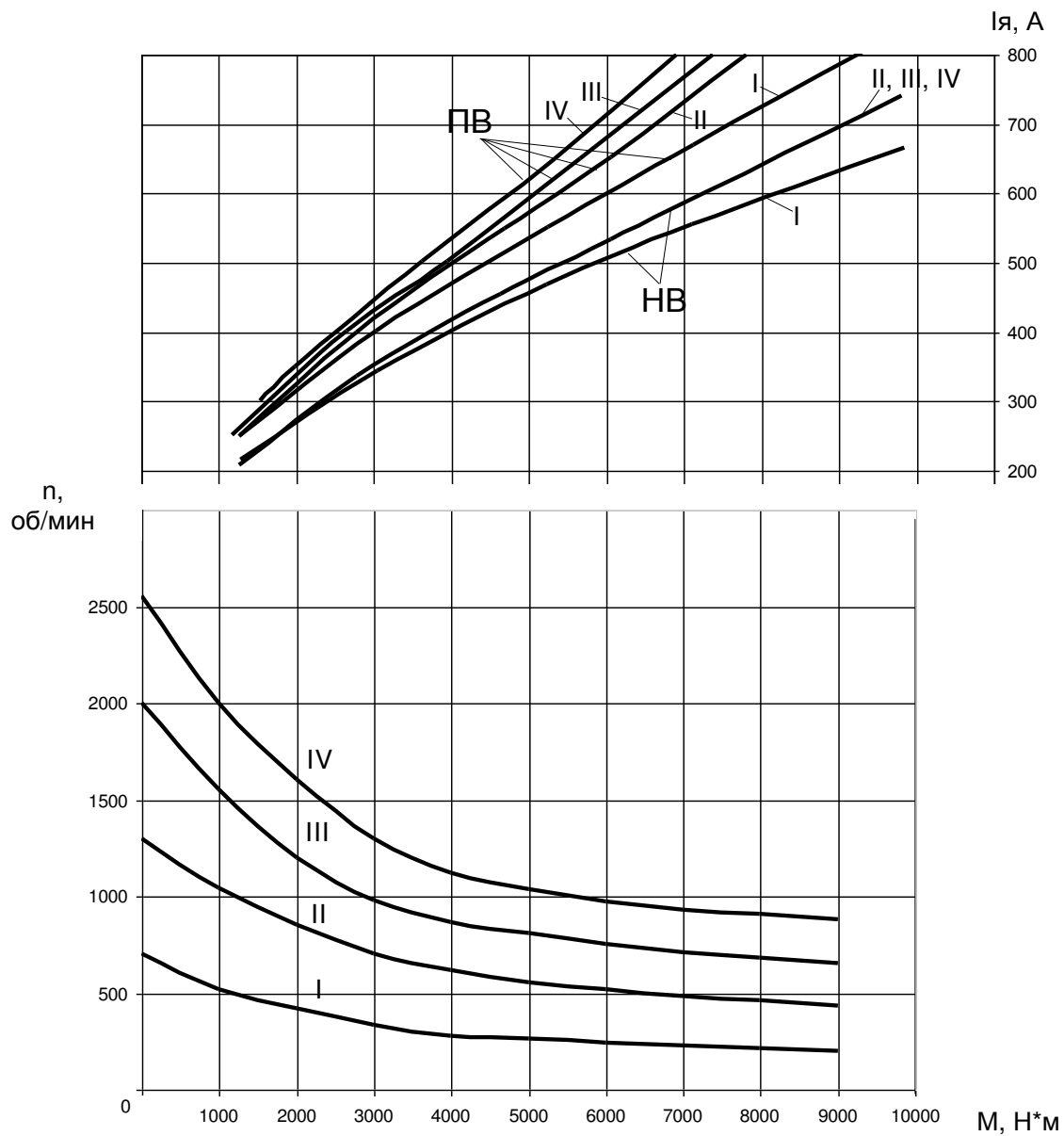


Рис. 5. Механические характеристики электродвигателя НБ-514Б и зависимость тока в обмотке якоря I_a при последовательном ПВ и независимом НВ возбуждении от момента M

С помощью предложенного регулятора тока в обмотках возбуждения можно повышать динамические свойства и энергетическую эффективность электроподвижного состава, обеспечивать энергосбережение при тяге поездов.

Список литературы

1. Уточненный закон сохранения энергии [электронный ресурс] / Н. Л. Рябченко, Т. Л. Алексеева и др. – 2015 – Режим доступа. – URL: http://www.rusnauka.com/42_PRNT_2015/Tecnic/5_202603.doc.htm

2. Астраханцев, Л. А. Ресурсосберегающее управление технологическими процессами: учебное пособие/ Л. А. Астраханцев, Н. Л. Рябченко, Т. Л. Алексеева. – Иркутск: ИрГУПС, 2012. –130 с.

УДК 629.4.015

А. Л. Мартусов

ЛИНЕЙНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Работа посвящена проблеме низкой эффективности линейных преобразователей, используемых на испытательных станциях тяговых электродвигателей. В данной работе предложен линейный преобразователь на базе электрического полупроводникового вариатора, принцип действия которого позволяет устранить причину проблем использования известных устройств.

Качество ремонта различных узлов тяговых электродвигателей (ТЭД) занимает особое место в решении проблем повышения надежности подвижного состава. Железная дорога затрачивает значительные средства и время для выполнения ремонта тягового подвижного состава. Гистограмма выполнения ремонта сервисных локомотивных депо Братское, Северобайкальск, Нижнеудинск, Иркутское, Абакан, Иланская, Боготол, Красноярск за 2015 – 2016 г. представлена на рис. 1. и рис. 2. При анализе данных гистограмм можно сказать что случаи выполнения ремонта узлов электрической части ТЭД(якорь, полюсы, компенсационные обмотки и т.д.) намного превосходят в количестве

ремонт механической его части. Это свидетельствует о низком качестве ремонта подвижного состава.

Изготовленные на заводах, а также прошедшие заводской и деповской ремонты ТЭД подвергаются испытаниям. Испытательные станции позволяют своевременно выявить дефект для дальнейшего его устранения, а также предотвращения аварийных ситуаций при эксплуатации. Сегодня испытательные станции состоят из линейного и вольтодобавочного преобразователей. Линейный преобразователь (ЛП) обеспечивает компенсацию механических, магнитных и добавочных потерь энергии ТЭД испытательной станции. Вольтодобавочный преобразователь (ВДП) предназначен для обеспечения достижения испытуемой машины номинального режима работы. В качестве регуляторов мощности в ЛП и ВДП в настоящее время используются трехфазные управляемые выпрямители, питающиеся от электрических сетей 0,4 кВ общего назначения. Данные устройства характеризуются нерациональным использованием энергии (завышенным током, из-за неэффективного использования электрического потенциала), нелинейным искажением тока, нарушением электромагнитной совместимости испытательной станции с системой электроснабжения. Для устранения недостатков управляемых выпрямителей применяется дополнительное фильтро-компенсирующее оборудование.



Рис. 1. Гистограмма выполнения ремонтов узлов ТЭД электровозов за 2015 - 2016 г.

Для устранения последствий неудовлетворительной работы используемого оборудования в работе предложен линейный преобразователь [1] на базе электрического полупроводникового вариатора (ЭПВ), принцип действия которого позволяет устранить причину проблем использования известных устройств. Причина низкой энергетической эффективности и электромагнитной совместимости управляемых выпрямителей установлена на основе уточненного закона сохранения энергии и заключается в сокращении продолжительности использования электрического потенциала питающей сети. Импульсная передача и неэффективное использование электрического потенциала источника энергии управляемыми выпрямителями устраняются регулированием мощности за счет изменения входного электрического сопротивления регулятора мощности ТЭД. [2]

Преобразование параметров электрической энергии и управление мощностью ресурсосберегающих технологических установок целесообразно выполнять с помощью полупроводниковых преобразователей, у которых $\Delta S \rightarrow 0$, а $K_n \rightarrow 1$. Практическая реализация данного направления развития линейного преобразователя возможна за счет использования полупроводниковых диодов, вместо тиристоров. На рис. 2 представлена схема предложенного линейного преобразователя.

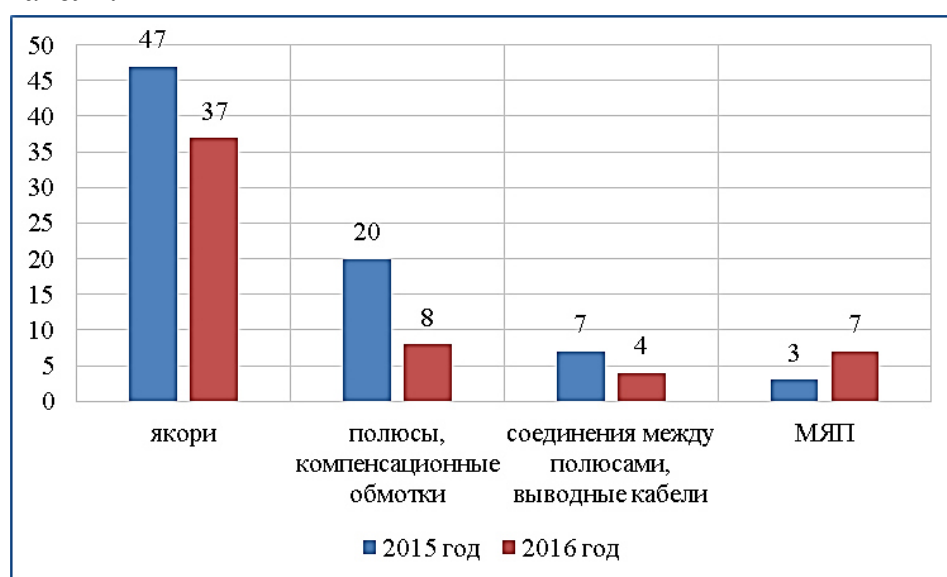


Рис. 2. Гистограмма выполнения ремонтов узлов ТЭД тепловозов за 2015 - 2016 г.

К выходным шинам выпрямителя, собранного на диодах VD1 – VD6, через индуктивность L, без сердечника соединен промежуточный емкостный накопитель электрической энергии C. Индуктивность L служит для

предотвращения загрузки контура переменного тока импульсным током во время работы модуля, собранного на IGBT-транзисторе VT1. Когда IGBT-транзистор VT1 заперт при подаче напряжения диоды выпрямителя отпираются и промежуточный накопитель C заряжается. С повышением напряжения на накопителе энергии до амплитудного напряжения 3-х фазной сети, диоды выпрямителя запираются. Входное электрическое сопротивление линейного преобразователя становится бесконечно большим. Импульсы управления IGBT-транзистором прямоугольной формы генерируются с помощью программируемого микроконтроллера с заданной частотой следования. Если вал двигателей неподвижен, а задатчик коэффициента заполнения импульсов находится в нулевом положении, то на выходе микроконтроллера импульсы управления отсутствуют.

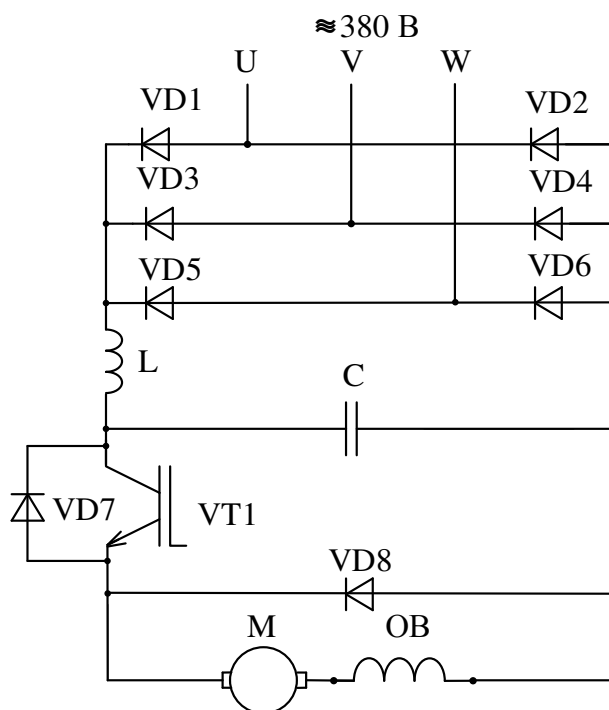


Рис. 3. Линейный преобразователь испытательной станции на основе электрического полупроводникового вариатора

При подаче трехфазного напряжения на выпрямитель, транзистор VT1 заперт и накопитель энергии C заряжается до амплитудного напряжения $380 \cdot \sqrt{2} = 537$ В, а диоды выпрямителя запираются. Если на IGBT-транзистор подать импульсы управления с минимальным коэффициентом заполнения, то по обмоткам ТЭД протекает ток, величина действующего значения которого больше действующего тока на входе выпрямителя во столько раз, во сколько раз напряжение на накопителе энергии больше действующего напряжения на

обмотках ТЭД. Коммутационные процессы в диодах выпрямителя исключаются за счет потенциальных условий на аноде и катоде, создаваемых промежуточным накопителем электрической энергии С.

По разработанной принципиальной схеме линейного преобразователя была построена математическая модель с помощью программы Matlab. Расчеты силовых полупроводниковых приборов производились с учетом номинального режима работы двигателя. На рис. 4 представлена математическая модель линейного преобразователя испытательной станции на основе электрического полупроводникового вариатора, при коэффициенте заполнения системы управления IGBT-транзистором на 99 %. Осциллограммы напряжения и тока питающей сети, в результате моделирования представлены на рис. 5. По данным осциллограмм можно наблюдать влияние линейного преобразователя на питающую сеть, форма кривой напряжения имеет незначительные просадки, а из сети берется 70 – 80 А, в установившемся режиме, при коэффициенте заполнения системы управления IGBT-транзистором на 99 %. По диаграммам видна эффективность использования электрической энергии питающей сети.

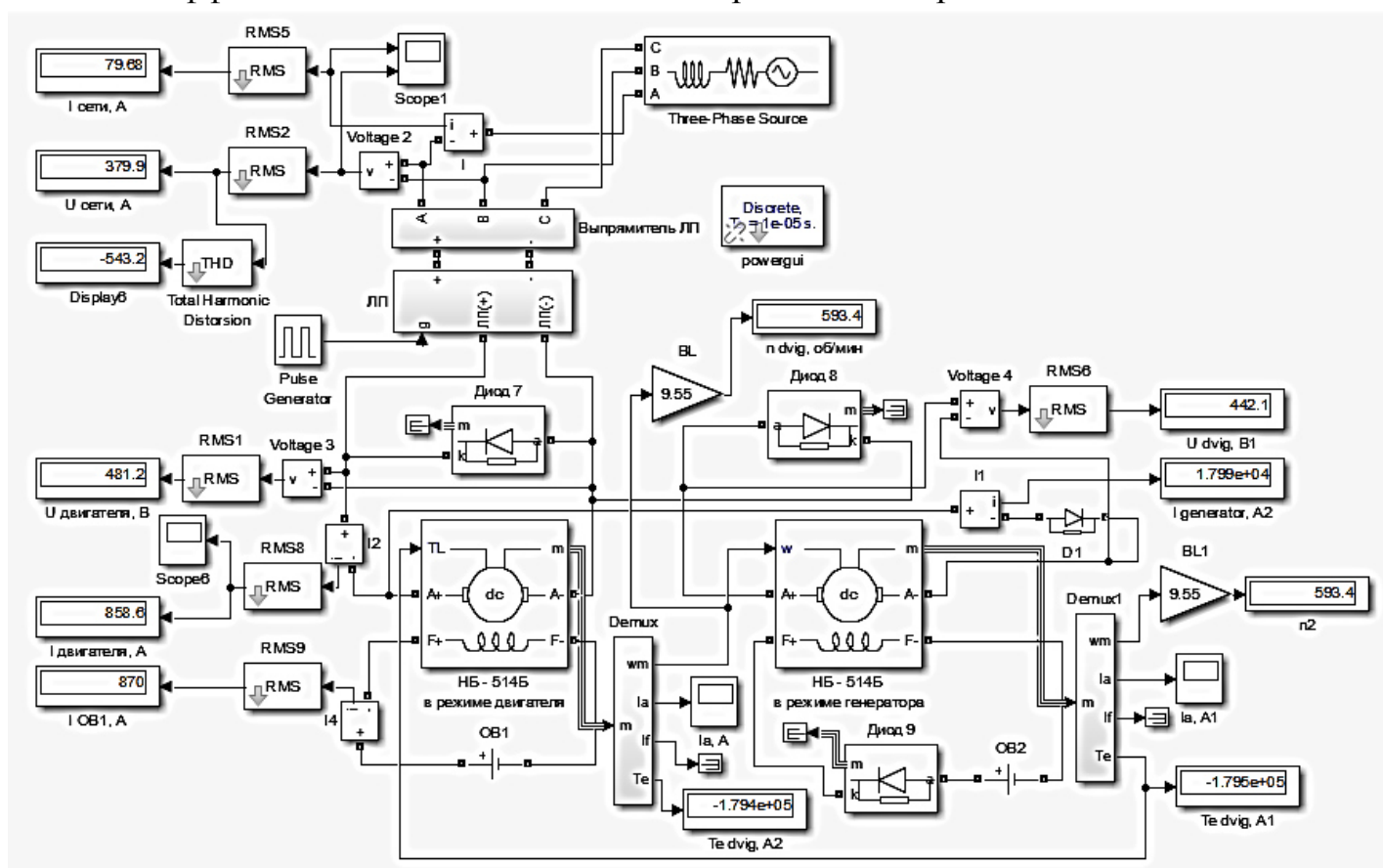


Рис. 4. Математическая модель линейного преобразователя испытательной станции на основе электрического полупроводникового вариатора, при коэффициенте заполнения системы управления IGBT-транзистором на 99 %

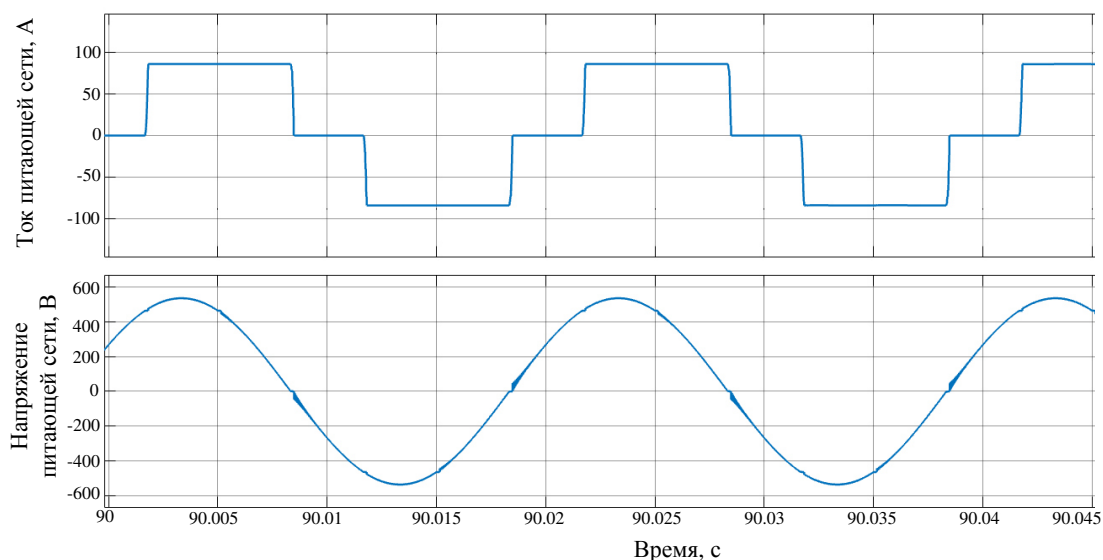


Рис. 5. Осциллограммы напряжения и тока питающей сети, при коэффициенте заполнения системы управления IGBT-транзистором на 99 %

Таким образом при использовании полупроводниковых диодов, используется полный потенциал источника питания. Данное техническое решение позволяет не загружать питающую сеть дополнительными токами. Устройство, которым за счет изменения входного электрического сопротивления выполняется регулирование мощности станции, обеспечивает коэффициент мощности близким к единице и высокую электромагнитную совместимость станции с питающей электрической сетью на всем диапазоне регулирования мощности. Предложенное техническое решение позволит минимизировать пассивную мощность ΔS , т.к. не будут происходить коммутации тиристоров, во время которых нерационально используется энергия, потребляемая из сети во время короткого замыкания. Так как $\Delta S \rightarrow 0$, полная мощность S , необходимая для реализации предложенного технологического процесса, будет меньше. Из чего можно сделать вывод, что нагрузка остается та же, а мощность, потребляемая из питающей сети становится меньше, выполняя тот же самый технологический процесс.

Список литературы

1. Мартусов, А. Л. Полупроводниковый регулятор мощности для испытательных станций тяговых электродвигателей электровоза. /

А. Л. Мартусов, Л. А. Астраханцев – Статья «Молодежь. Наука. Технологии» (МНТК-2017). – Новосибирск, 2017.

2. Уточненный закон сохранения энергии [электронный ресурс] / Н. Л. Рябченко, Т. Л. Алексеева и др. – 2015 – Режим доступа. – URL: http://www.rusnauka.com/42_PRNT_2015/Tecnic/5_202603.doc.htm.

УДК 621.436.12

С. М. Овчаренко, В. А. Минаков

ОБРАБОТКА ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА МОТОРНОГО МАСЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В работе описана методика применения искусственных нейронных сетей при обработке данных оценки результатов спектрального анализа моторного масла дизеля типа Д49. Даная методика применима для определения предотказного состояния деталей цилиндропоршневой группы и кривошипношатунного механизма.

Ежегодно ОАО «РЖД» на основе информации об отказах, поступающей из локомотивных депо, выполняет анализ порч и неплановых ремонтов локомотивов на сети дорог. На основе этой информации впоследствии вырабатываются организационные и технологические мероприятия по повышению надежности их работы.

В 2015 году число заходов тепловозов на неплановые ремонты превысило в сравнении с 2014 годом на 4,05% и составило 50360 случаев или 90,51 случая на 1 млн. км. пробега в 2015 году против 48402 или 85,26% случая на 1 млн. км. пробега в 2014 году (для сравнения в 2010 году выявлено 22546 случаев или 42,03 случая на 1 млн. км. пробега). Наибольший рост зафиксирован на Северной железной дороге: 216,81 случай на 1 млн. км. пробега в 2014 году против 150,53 случая на 1 млн. км. пробега в 2014 году. На рис. 1 представлены данные по отказам узлов и систем тепловозов за период с 2008 по 2015 год. Анализ представленных данных показывает, что наименее надежными узлами являются дизель, на долю которого приходится 37-42% отказов, и электрическое оборудование (28-32%) [1, 2].

Исследованию эксплуатационной надежности основных узлов и деталей дизеля посвящены работы МИИТа, СпГУПСа, ВНИИЖТа, РГУПСа, ОмГУПСа и ряда других научных организаций, результаты которых позволяют выделить дизель как узел, требующий наибольшего внимания с позиций диагностирования.

В дизеле можно выделить пять основных узлов, требующих постоянного контроля: цилиндро-поршневая группа (ЦПГ), кривошипно-шатунный механизм (КШМ), топливная аппаратура (ТА), газораспределительный механизм (ГРМ) и все остальные узлы дизеля.

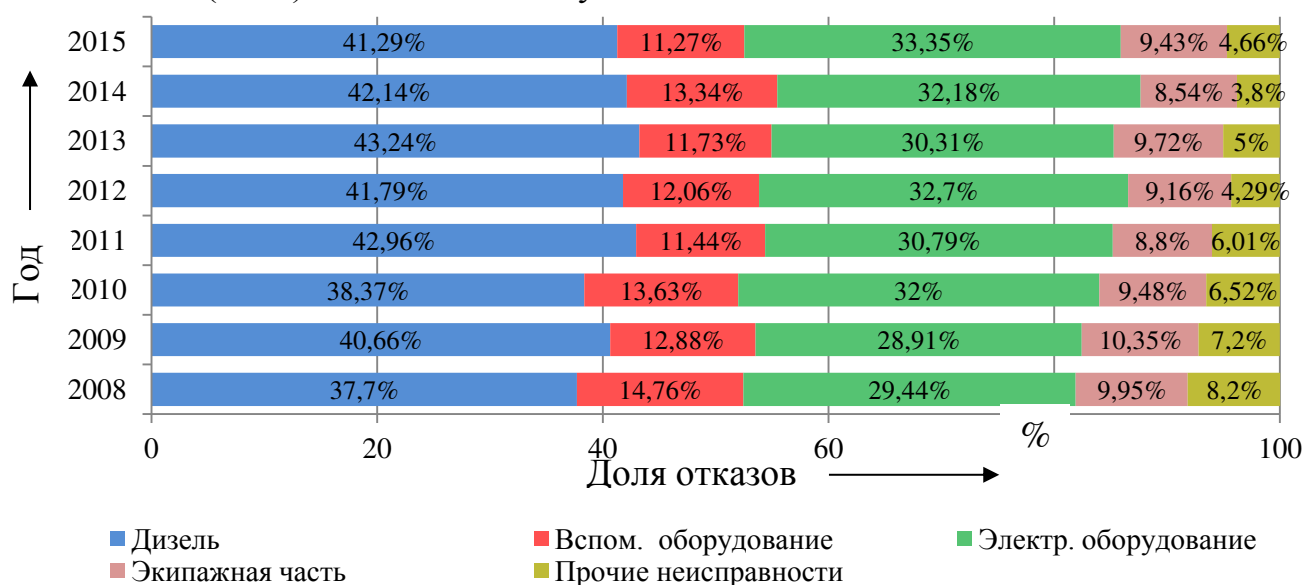


Рис. 1. Количество неисправностей узлов локомотива

Неисправности деталей ЦПГ и КШМ составили чуть менее 50% от их общего количества, то есть каждая вторая неисправность приходится на эти узлы. Объяснить это можно тем, что именно детали ЦПГ и КШМ работают при больших динамических и температурных нагрузках. В значительной степени надежность их работы зависит и от внешних факторов – уровень качества работы системы смазки, системы охлаждения и т.д.

Основными видами неисправностей деталей ЦПГ и КШМ дизеля, которые фиксировались при отказах, являлись: разрушение вкладышей, проворот вкладышей, выкрашивание баббитовой заливки, трещины цилиндрических гильз и рубашек охлаждения, обрыв адаптеров, задиры и износ цилиндрических гильз, разрушение, излом и износ поршневых колец,

закоксовывание соплового наконечника. Причиной большинства этих неисправностей стал повышенный износ деталей [1].

Оценка степени износа деталей осуществляется двумя способами: при разборе дизеля, когда производят визуальный контроль и метрологические операции с деталями, что является не целесообразным с экономической точки; и безразборным способом, что осуществляется при помощи современных средств диагностики и контроля.

Наиболее действенным безразборным способом оценки износа ЦПГ и КШМ является метод анализа текущей концентрации моторного масла продуктами износа. Согласно ГОСТ 201759 от 90-го года, установлена методика оценки технического состояния деталей, основанная на реализации вероятностного алгоритма вычислением диагностических коэффициентов. Применение этой модели предполагает предварительное формирование диагностической матрицы, содержащей порядка 4000 реализаций. Практика применения такого подхода показала, что в некоторых случаях достоверность принимаемых решений довольно низка. Причиной являются: использование диагностической матрицы «не своего депо», недостаточная оперативность в передаче информации, эффективность работы системы зависит от качества исходной информации.

Сегодня в локомотивных депо применяется методика оценки по предельным значениям концентрации масла продуктами износа, данный способ выявляет уже изношенную группу деталей, и не способен зафиксировать начальный момент износа и тип группы изнашиваемых деталей.

При прогнозировании процессов трудно оставаться только на формальной основе, в итоге все сводится к конечным задачам, для которых строятся модели. Модели прогнозирования различаются сложностью решения, применимостью в различных задачах и качеством прогноза.

Решение задачи определения предотказного состояния деталей ЦПГ и КШМ дизеля сводится к методам классификации на основе моделей прогнозирования. Наиболее применяемые модели для решения типовых задач классификации представлены в табл. 1. В ней указаны достоинства и недостатки моделей по трем критериям [3, 4].

Оценка текущего технического состояния деталей ЦПГ и КШМ, процесс трудоемкий, сложный и очень объемный с точки зрения информационной

обработки данных. Поэтому из рассмотренных математических моделей по анализу и обработке информации выбор сделан в пользу аппарата искусственных нейронных сетей. Искусственные нейронные сети справляются с огромным количеством математических задач, благодаря своим гибким настройкам и возможностью подстраиваться под необходимый результат при обучении, но особенно хороши обработки информации.

Решение сети происходит за счет полученных при обучении весовых коэффициентов по заранее заданным входным и выходным данным. В качестве входных значений используются данные результатов спектрального анализа моторного масла, выходными значениями служат группы контролируемых деталей.

Таблица 1

Модели прогнозирования в задачах классификации

№	Модель математического анализа	Сложность	Применяемость	Качество
1	По выборке максимального подобия	+	–	+
2	Искусственные нейронные сети	–	+	+
3	Цепи Маркова	+	–	+
4	Классификационно-регрессионные деревья	–	+	+
5	Модель генетического алгоритма	–	–	+
6	Регрессионные модели прогнозирования	+	+	–
7	Модели экспоненциального сглаживания	+	+	–

Обучение ИНС происходит посредством интерактивного процесса корректировки синаптических весов w_k . При правильном подходе к обучению, сеть получает знания на каждой итерации процесса.

Целью обучения нейронной сети является минимизации разности выходного y_i и желаемого d_k сигнала. Различие между выходным и желаемым сигналом определяют как сигнал ошибки [3,4]:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M [f(u_i) - d_k]^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \left[f \left(\sum_{i=0}^K w_{ki}^{(2)} \cdot f(u_i) \right) - d_k \right]^2, \quad (1)$$

где v, x - входные сигналы слоя, результаты спектрального анализа масла;
 $f(u_i)$ - выходное значение, степень износа k -й группы деталей.

Выходное значение k -го сигнала, рассчитывается с учетом выбранной функцией активации:

$$u_i = f\left(\sum_{i=0}^K w_{ki}^{(2)} v_i\right). \quad (2)$$

Для минимизации сигнала ошибки выходных значений сети, производится корректировки весовых коэффициентов, пока сигнал ошибки не примет устойчивого состояния. Минимизация сигнала ошибки выполняется по дельта-правилу, где изменение весовых коэффициентов Δw нейрона i задается как:

$$\Delta w_i = \eta(d_i - y_i) \cdot x_i \quad (3)$$

где η - константа определяющая скорость обучения.

Выходные сигналы, используемые в данной работе как износ контролируемых деталей, рассчитывается как:

$$y = f\left(\left(\sum_i w_i \cdot x_i\right) - \theta\right), \quad (4)$$

где f - нелинейная функция активации;

θ - пороговый уровень нейрона.

По ряду проведенных исследований, наиболее оптимальная архитектура сети для анализа данных принята – многослойный персептрон. Сеть имеет 9 нейронов входного слоя – показатели концентрации масла продуктами износа, скрытый слой, 14 выходных значений соответствующих группам оборудования (рис. 7).

Вектор входного

сигнала

Fe→
Cu→
Pb→
Mn→
Sn→
Mo→
Si→
Al→
Ni→

Скрытый слой
(не менее одного)

$x(n)$

Выходной
нейрон
 k

$y_k(n)$

→ЦВ	→ПП
→ПрП	→ЮП
→МК	→КК
→КВ	→ШВ
→КШ	→ШШ
→БВВП	→БВПП
→ГП	→КИО

$d_k(n)$

+

$e_k(n)$

Рис. 2. Архитектура ИНС

Применение ИНС для анализа концентрации продуктов износа в моторном масле, позволит определить момент наступления интенсивного изнашивания отдельной детали или группы деталей, что позволяет

предотвратить отказ дизеля. Это позволит совершать диагностирование трущихся деталей дизеля без разбора и вывода его из эксплуатации [5].

Список литературы

1. Овчаренко, С. М. Повышение эффективности системы диагностирования тепловозов: Дисс докт. техн. наук. Л., 2007. 368 с.
2. Минаков, В. А. Моделирование процесса накопления продуктов износа в моторном масле тепловозного дизеля Д49 / С. М. Овчаренко, В. А. Минаков // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2013. – №3(15). – С. 55 – 61.
3. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с..
4. Галушкин, А. И. Нейронные сети: основы теории / А. И. Галушкин. М.:2010. – 496 с.
5. Минаков, В. А. Оценка технического состояния деталей дизеля с применением нейронно-сетевой обработки данных / С. М. Овчаренко, В. А. Минаков // Контроль. Диагностика.: Науч.-технический журнал Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике / ООО «Издательский дом «Спектр» 2(212) февраль 2016. – С. 46 – 50.

УДК 621.319

Ю. В. Москалев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДА-РАЗРЯДА ЛИТИЙ-ТИТАНАТНОГО АККУМУЛЯТОРА

В статье представлены результаты экспериментальных исследований процессов заряда-разряда литий-титанатного аккумулятора. Такой литий-ионный аккумулятор имеет необходимые показатели для использования в различных технических системах, в которых необходим энергоемкий и мощный накопитель энергии с ресурсом десятки тысяч циклов заряда-разряда. Приведены характеристики заряда и разряда литий-титанатного аккумулятора типа LTO 16160 с номинальным напряжением 2,3 Вольта и номинальной емкостью 30 Ампер-часов.

Одним из инновационных технических средств для повышения энергетической эффективности систем электроснабжения электрического транспорта является накопитель энергии (НЭ) [1].

В настоящее время существуют действующие НЭ в системах тягового электроснабжения метрополитенов и железных дорог различных стран: около 60 % из них реализованы с использованием маховиков и супермаховиков, около 30 % – с использованием суперконденсаторов и около 10 % – с использованием химических источников тока [2].

Среди большого количества различных типов НЭ литий-ионные аккумуляторы имеют одновременно наибольшее значение удельной мощности и энергоемкости [3], благодаря этому они находят применение во многих технических системах. Например, это электромобили и гибридные автомобили, электрический подвижной состав городского пассажирского транспорта, аккумуляторы систем резервного питания бортовых систем, системы возобновляемой энергетики, системы космического назначения и др. [4,5].

Существующие НЭ, реализованные с использованием литий-ионных аккумуляторов, имеют энергоемкость несколько тысяч киловатт-часов и мощность десятки мегаватт [5].

Одним из недостатков литий-ионных аккумуляторов был относительно небольшой ресурс, например, литий-железо-фосфатные – менее 5000 циклов; литий-кобальтовые – менее 1000 циклов (ресурс значительно зависит от глубины заряда разряда, величины и законов изменения токов). Создание литий-ионного аккумулятора с анодом из титаната лития позволило значительно увеличить ресурс такого химического НЭ (по данным производителей ресурс литий-титанатного аккумулятора может достигать 30 тысяч циклов при соблюдении необходимых условий работы). В связи с этим литий-титанатные аккумуляторы имеющие наибольшие значения удельной мощности и энергоемкости, а также значительный ресурс, можно использовать в качестве основных элементов емкого стационарного НЭ для системы тягового электроснабжения постоянного тока железных дорог.

Для экспериментального определения технических характеристик и показателей литий-титанатных аккумуляторов был разработано устройство заряда-разряда (рис. 1).

Устройство позволяет обеспечивать необходимый для испытания аккумулятора закон изменения тока заряда-разряда, а также обеспечивать регулирование тока в процессе испытания. Это позволяет реализовать необходимые условия работы, которые возможны при эксплуатации НЭ.

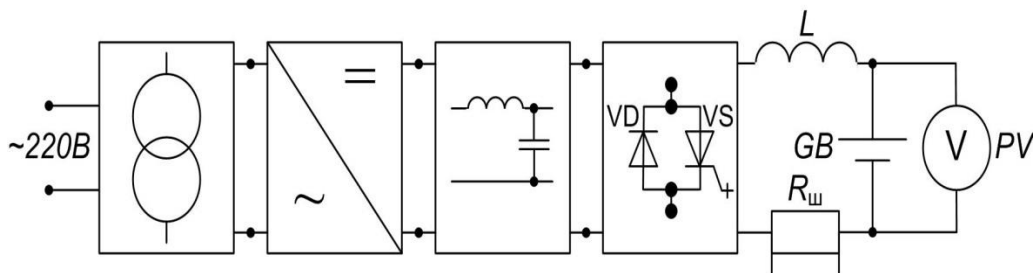


Рис. 1. Структурная схема устройства заряда-разряда

В качестве объекта исследования был использован аккумулятор типа *LTO 16160* с номинальным напряжением 2,3 Вольта и номинальной емкостью 30 Ампер-часов (рис. 2).

Основные технические параметры аккумулятора типа *LTO66160* приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические параметры литий-титанатного аккумулятора типа *LTO66160*

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	2,3
Номинальная емкость, А·ч	30
Запасаемая энергия, Вт·ч	69
Номинальная мощность, Вт	69
Внутреннее сопротивление, мОм	0,5-1
Масса, кг	1,2
Диаметр и длина, мм	66×210
Продолжительный допустимый ток заряда-разряда, А	180
Рабочая температура, °С	–30...+30

На рис. 3 приведены кривые заряда и разряда, полученные в результате эксперимента. Заряд и разряд осуществлялся при постоянном значении тока 30, 60 и 90 Ампер.

В результате экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1) рабочий диапазон напряжения ячейки аккумулятора составляет от 2,1 до 2,4 В, в этом диапазоне аккумулятор запасает и возвращает практически весь объем энергии.

2) При заряде и разряде номинальным током 30 Ампер ячейка запасает 67,2 Ватт-часов и возвращает 66,1 Ватт-часов энергии, что несколько меньше номинальной энергоемкости – 69 Ватт-часов.

3) *LTO*-аккумулятор имеет высокий КПД при номинальном токе.

4) Внутреннее сопротивление ячейки составляет менее 1 мОм.



Рис. 2. Литий-титанатный аккумулятор типа *LTO66160*

Основными недостатками литий-ионных аккумуляторов для реализации емкого и мощного НЭ являются низкое рабочее напряжение, а также неидентичность характеристик отдельных аккумуляторов. Рабочий диапазон напряжений в тяговой сети составляет несколько киловольт (2900-4000 В), поэтому необходимо специальное устройство с гальванической развязкой [6].

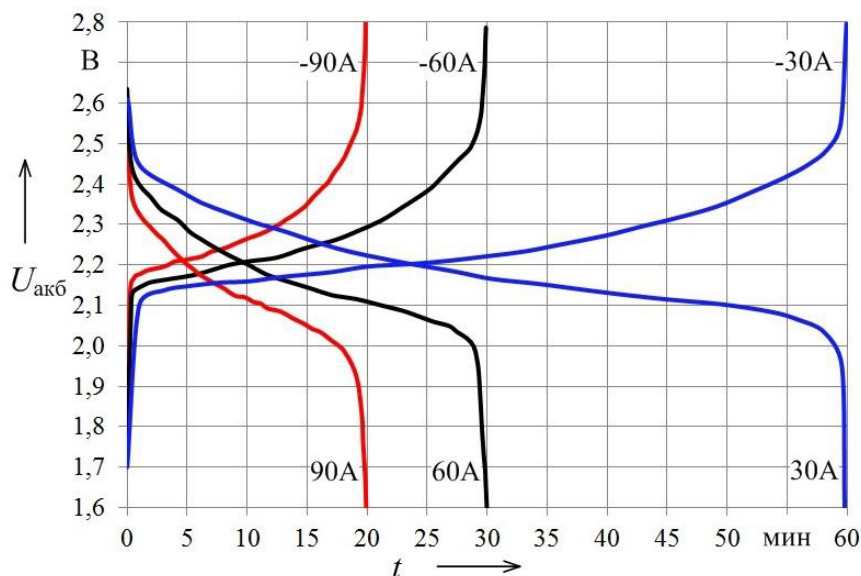


Рис. 3. Зарядные и разрядные характеристики литий-титанатного аккумулятора типа *LTO66160* (постоянный ток заряда-разряда):

$U_{\text{акб}}$ – напряжение на выводах аккумулятора

Таким образом, одним из перспективных типов НЭ для решения проблемы избыточной энергии рекуперации в системе тягового электроснабжения железных дорог является литий-титанатный аккумулятор.

Список литературы

1. Москалев, Ю. В. Определение места размещения и энергоемкости накопителя энергии в системе тягового электроснабжения постоянного тока двухпутного участка / Ю. В. Москалев, М. А. Карабанов // Наука и техника транспорта. – Москва, 2015. – № 2. – С. 21 – 28.
2. Huggins R. Energy Storage. Springer, 2010. 400 p.
3. Москалев, Ю. В. Литий-титанатный накопитель энергии для поглощения избыточной энергии рекуперации в системе тягового электроснабжения постоянного тока / Москалев, Ю. В. // Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем: Материалы международной научно-практической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2014. С. 171-178.
4. Nelson P., Amine K, Rousseau A, Yomoto H. Advanced Lithium-Ion Batteries for Plug-in Hybrid-Electric Vehicles. Argonne National Laboratory, 2010, pp. 440-457.
5. http://www.liotech.ru/sectornews_207_503.
6. Пат. RU(11) 158492 (13) U1 МПК H01M 10/44. Устройство заряда емкостного накопителя / Ю. В. Москалев. – № 2015118763/07. Заявлено 19.05.2015. Оpubл. 10.01.2016. Бюл. № 1.

УДК 629.4

А. А. Свечников, И. В. Метальников

ПЕРЕВОД ТЕПЛОВОЗОВ НА СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

В данной статье приведен анализ преимуществ применения сжиженного природного газа (СПГ), как моторного топлива на железнодорожном транспорте. Представлена принципиальная схема газопоршневого двигателя с турбонаддувом. Рассмотрены преимущества предложенного двигателя. Приведены результаты расчетов работы

двигателя 16ЧН26/26, при различных температурах воздуха, поступившего в рабочие цилиндры. Расчетно-теоретическое исследование работы дизеля на сжиженном метане выполнено в программе Diesel-RK.

Энергетические и экологические проблемы современной цивилизации тесно связаны с применением поршневых двигателей, являющихся одним из основных потребителей природных энергетических ресурсов и источников загрязнения окружающей среды.

Наиболее эффективный способ снижения расхода дизельного топлива на тепловозных двигателях – применение природного газа. Как показали исследования, природным газом можно заменить на магистральных газотепловозах 70-80% и на маневровых 50-55% дизельного топлива [1].

Энергетические и физические характеристики газового топлива (повышенная по сравнению с дизельным топливом на 10% калорийность, пониженные в 1,5-2 раза выбросы токсичных веществ при сгорании, увеличенный на 30-40% срок службы моторного масла при использовании газа) обеспечивают более высокие экономические, ресурсные и экологические показатели тепловозов.

Разработка и внедрение тепловозов, работающих на сжиженном природном газе (СПГ), таких как ТЭМ-19, говорит о том, что на железной дороге РФ происходит переход от использования дизельного топлива, как моторного на газовые виды топлива. Это также подтверждено Стратегией инновационного развития ОАО «РЖД» (Белая Книга ОАО «РЖД»).

Значительные запасы природного газа в России обеспечивают устойчивое топливоснабжение тепловозов в перспективе.

Принципиальная схема газопоршневого двигателя с турбонаддувом представлена на рис. 1.

Особенностью предложенного технического решения является то, что на каждой крышке цилиндра двигателя дополнительно установлены форкамеры со свечой зажигания газозоудшной смеси, выход из емкости топливного газа соединен через электромагнитный клапан с патрубками подвода топливного газа каждой форкамеры, причем электромагнитный клапан и свечи зажигания газозоудшной смеси форкамер электрически соединены с автоматизированным пультом управления режимами работы двигателя.

Дополнительно установленные на каждой крышке цилиндра двигателя форкамеры со свечами зажигания и регулируемая подача газа в форкамеры из емкости с топливным газом через электромагнитный клапан позволяет повысить полноту сгорания газозвушной смеси в цилиндрах двигателя и снизить расход топлива и соответственно снизить выброс веществ в атмосферу.

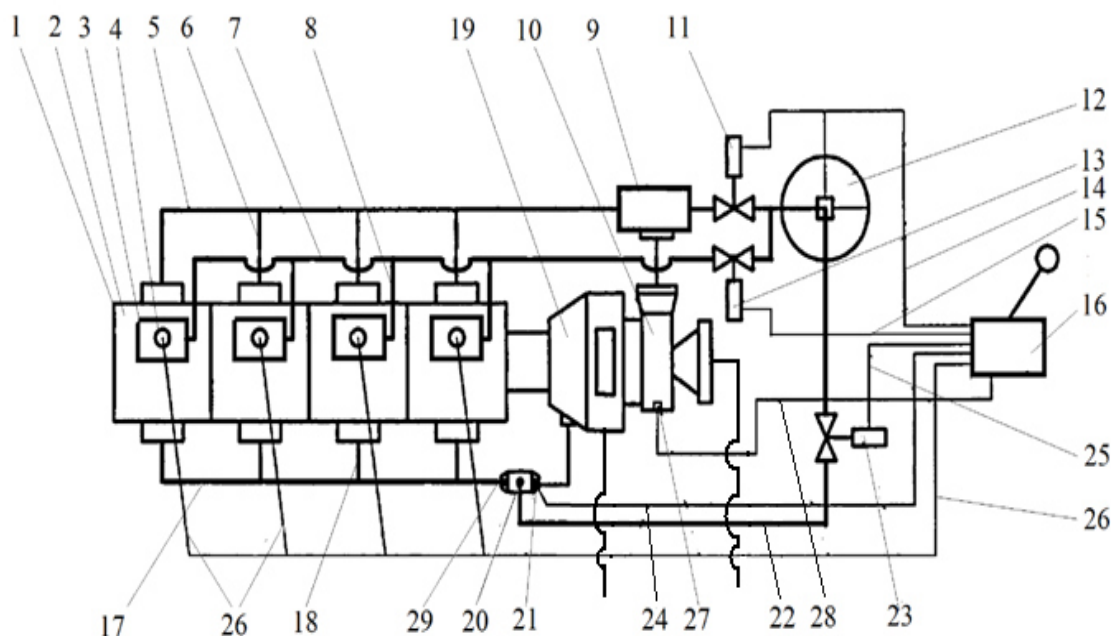


Рис. 1. Газопоршневой двигатель с турбонаддувом:

- 1 – газопоршневой двигатель с турбонаддувом; 2 – крышки цилиндра (не показаны);
- 3 – форкамеры; 4 – свечи зажигания газозвушной смеси; 5 – газозвушной ресивер;
- 6, 8, 30, 31 – патрубки; 7, 22 – газопроводы; 9 – газозвушной смеситель; 10 – воздушный нагнетательный патрубок турбокомпрессора; 11, 13, 23 – электромагнитные клапаны;
- 12 – емкость топливного газа; 14, 15, 24, 25, 26, 28 – электрические провода;
- 16 –автоматизированный пульт управления режимами работы газопоршневого двигателя;
- 17 – коллектор выпускных газов; 18 – выпускные патрубки; 19 – корпус соплового аппарата турбины турбокомпрессора; 20 – газовые форсунки; 27 – датчик частоты вращения ротора;
- 29 – датчик содержания кислорода в выпускных газах

Подробное описание принципа работы газопоршневого двигателя представлено в патенте на полезную модель [2].

Применение предполагаемого газопоршневого двигателя с турбонаддувом позволит достичь снижения расхода топлива на 3-5%, снижения выброса продуктов сгорания в атмосферу на 70-80%, повышения экономичности.

На основе данного патента и на базе дизеля 1А-5Д49-2 (16ЧН26/26) тепловоза 2ТЭ116 в программе *Disel-RK* был смоделирован рабочий процесс

двух двигателей. Первый на дизельном топливе, второй – газовой-форкамерный. Настройка математической модели в программе *Disel-RK* осуществлялась по реальным показателям дизеля 1А-5Д49-2, снятым при реостатных испытаниях тепловоза 2ТЭ116. Такой подход позволяет спрогнозировать реальное поведение дизеля при изменении типа рабочего процесса с дизельного на газовой-форкамерный.

Используя протокол реостатных испытаний тепловоза 2ТЭ116, была подобрана цикловая подача топлива при заданной мощности и частоте вращения коленчатого вала.

Результаты расчетно-теоретического исследования приведены в таблицах:

- в таблице 1 приведены характеристики двух сравниваемых двигателей;
- в таблице 2 представлена эмиссия NO_x выхлопа.

Таблица 1

Характеристики двигателей

Газовый-форкамерный							Дизельный				
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	Мощность, кВт	Цикловая подача топлива, г	Удельный расход топлива при T воздуха, кг/(кВт·ч)								
			288 °K	273 °K	253 °K	223 °K	Цикловая подача топлива, г	Удельный расход топлива при $T = 288\text{ }^{\circ}\text{K}$, кг/(кВт·ч)			
			350,0	119,30	0,3699	0,3547	0,3147	0,3014	0,2705	0,2550	0,3591
			470,0	220,67	0,3966	0,3139	0,2981	0,2775	0,2538	0,2890	0,2955
			590,0	334,51	0,4168	0,2978	0,2857	0,2685	0,2419	0,3177	0,2787
			680,0	413,36	0,4315	0,2855	0,2794	0,2621	0,2375	0,3428	0,2707
			770,0	696,43	0,4927	0,2528	0,2507	0,2440	0,2291	0,4524	0,2401
			810,0	853,62	0,5646	0,2471	0,2361	0,2301	0,2263	0,5090	0,2318
			845,0	1008,6	0,6120	0,2353	0,2285	0,2258	0,2187	0,5640	0,2268
			905,0	1329,0	0,6880	0,2241	0,2195	0,2163	0,2105	0,6750	0,2206
970,0	1700,6	0,7964	0,2177	0,2139	0,2132	0,2078	0,7990	0,2188			
1000,0	1900,0	0,8534	0,2145	0,2119	0,2093	0,2053	0,8710	0,2200			

Следует отметить, что разработанная схема газопоршневого двигателя предполагает, что сжиженный метан из криогенной емкости, прежде чем попасть в цилиндры дизеля, будет проходить через воздухоохладитель. Этим достигается более эффективное охлаждение наддувочного воздуха. Более низкие температуры наддувочного воздуха способствуют снижению удельного эффективного расхода топлива и повышению мощности дизельной установки.

Таким образом, положительный эффект от перевода дизеля на сжиженный метан суммируется с эффектом от улучшения качества наддува.

Таблица 2

Эмиссия NO_x выхлопа.

Тип двигателя	Дизельный	Газовый-форкамерный			
Температура окружающего воздуха	288 °K	288 °K	273 °K	253 °K	223 °K
1000 об/мин	46,3195	9,281	3,465875	0,528175	0,056513
810 об/мин	47,206	0,006188	0,001825	0,001003	0,001025
350 об/мин	5,5575	0,003688	0,003438	0,003163	0,002888

По полученным результатам построены: зависимость цикловой подачи топлива от частоты вращения коленчатого вала ДВС (рис. 2), зависимость удельного расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала ДВС при различной температуре воздуха (рис. 3) и эмиссия NO_x выхлопа при различной температуре воздуха (рис. 4).

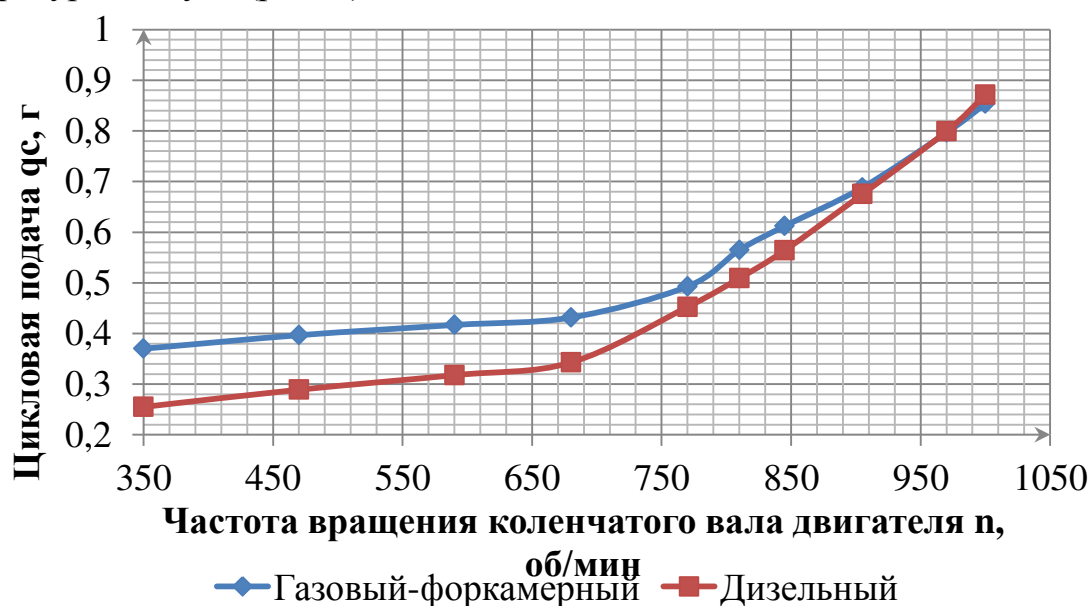


Рис. 2. Зависимость цикловой подачи топлива от частоты вращения коленчатого вала ДВС

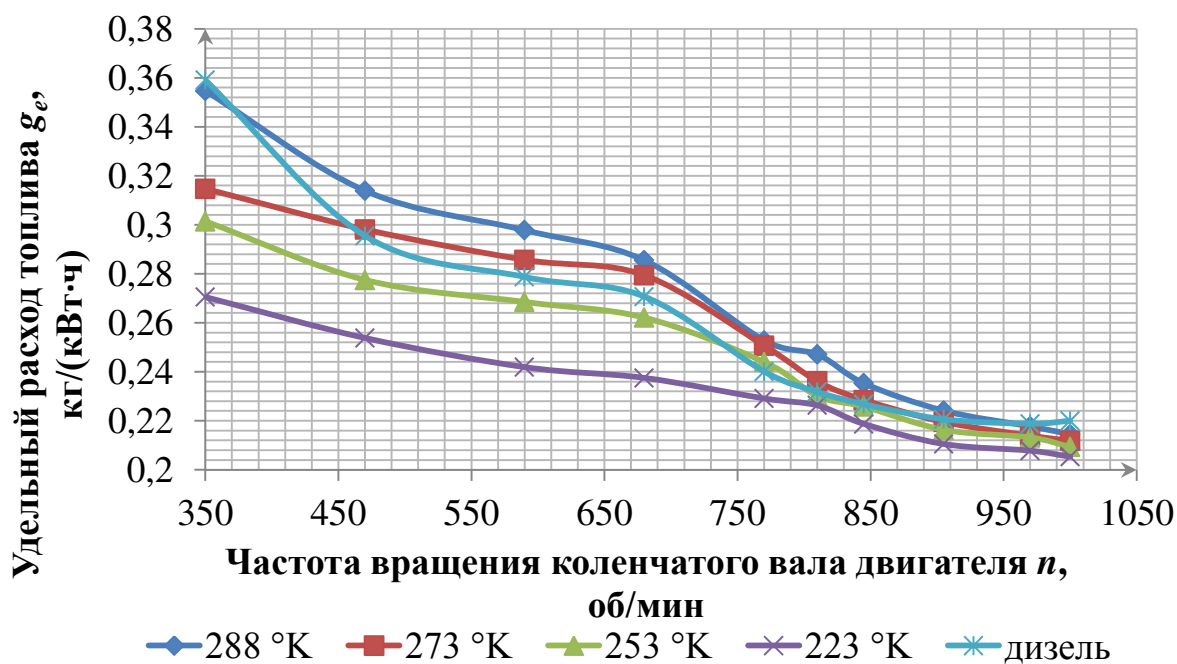


Рис. 3. Зависимость удельного расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала ДВС при различной температуры воздуха

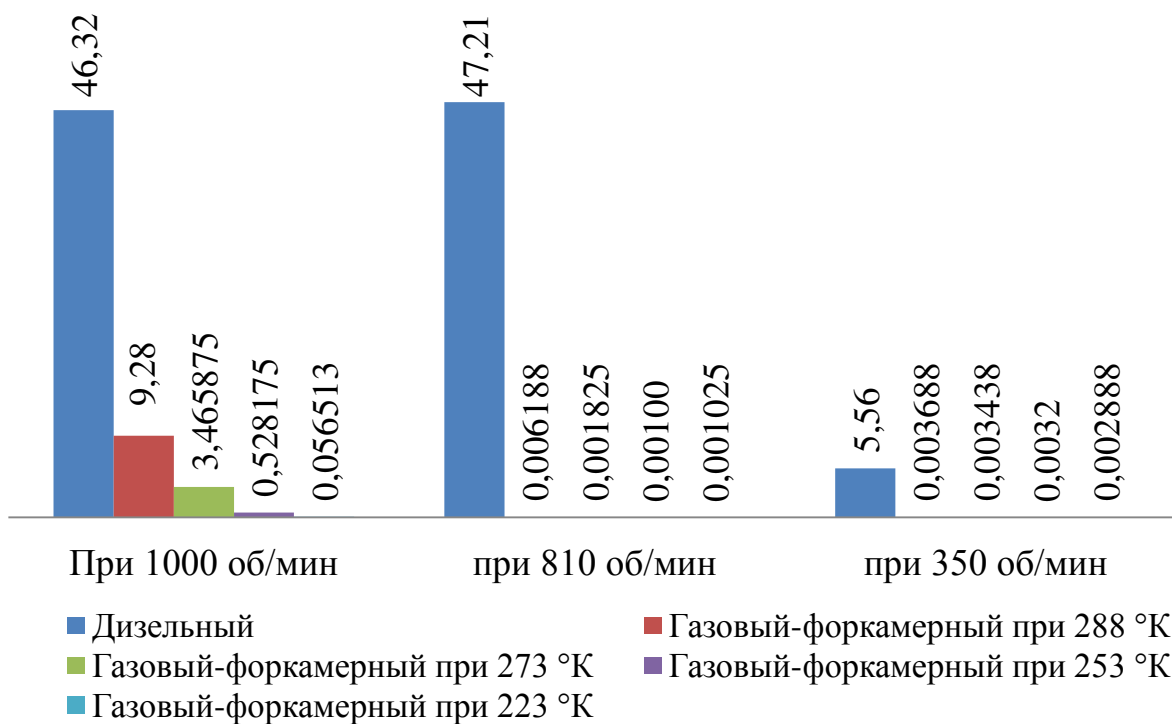


Рис. 4. Эмиссия NO_x выхлопа при различной температуры воздуха

Из графиков рис. 2 и рис. 3 видно, что при температуре воздуха 288 °К и условиях заданной мощности на оборотах близких к номинальным цикловые подачи становятся почти одинаковыми, а удельный расход топлива меньше на

3 %, чем при работе двигателя на дизельном топливе. Наименьший расход газа достигается при температуре 223 °K.

Из гистограммы рис. 4 видно, что при работе газопоршневого двигателя на СПГ при температуре окружающего воздуха 288 °K эмиссия NO_x выхлопа меньше на 80% чем при работе дизельного двигателя при той же температуре окружающего воздуха. К тому же при работе газопоршневого двигателя на СПГ отсутствует образование сажи.

В ходе проделанной работы можно сформулировать следующие выводы:

- перевод тепловозов на СПГ позволит обеспечить более высокие экономические, ресурсные и экологические показатели тепловозов;
- разработанный газопоршневой двигатель с турбонаддувом позволит использовать сжиженный природный газ в качестве альтернативного источника энергии, достичь снижения расхода топлива на 3-5%, снижения выброса продуктов сгорания в атмосферу на 70-80%;
- по расчетам, проведенным в программе *Diesel-RK*, видно, что применение газопоршневого двигателя с турбонаддувом на СПГ и при температуре наддувочного воздуха 223 °K, приводит к существенному уменьшению удельного расхода топлива, а также улучшению экологических характеристик.

Список литературы

1. Кавтарадзе, Р. З. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород / Р. З. Кавтарадзе. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 238 с.
2. Патент РФ на полезную модель, МПК: *F02B19/10*, *F02B37/20*, *F02B43/06*. Газопоршневой двигатель с турбонаддувом / Д. Я. Носырев, И. В. Украинцев – № 165266; опубликовано 10.10.2016 г.

В. Ю. Тэттэр, А. Ю. Тэттэр

ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА – ОСОБЕННОСТИ И ИНТЕГРАЦИЯ В ПРОЕКТ «ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»

Приведены особенности вибродиагностирования роторных узлов подвижного состава. Рассмотрены особенности аппаратной части и программного обеспечения. Проанализированы проблемы интеграции диагностического оборудования в проект «цифровая железная дорога». Определены направления совершенствования вибродиагностического оборудования.

Современные системы для диагностирования и наладки оборудования по вибрации представляют собой совокупность измерительных устройств и специального программного обеспечения. Конкуренция на Российском рынке производителей виброметрической техники достаточно острая (в настоящее время в России функционируют более пятидесяти таких компаний). Естественно, что производители вибродиагностического оборудования (ВДО) стремятся улучшить характеристики и расширить функциональные возможности без значительного увеличения его стоимости. ВДО, разрешенное к применению в ОАО «РЖД», разрабатывают и выпускают, в основном, восемь российских компаний.

Поиск оптимальных путей совершенствования аппаратной части и программного обеспечения является для данного вида изделий актуальной задачей, которая связана как с теоретическими научными исследованиями (новые методы обработки и анализа вибросигнала, отыскание новых диагностических признаков и т.д.), так и с практическими задачами по реализации новых подходов и алгоритмов в конкретных изделиях.

Общие вопросы анализа методов вибрационной диагностики и реализации технических средств систем диагностирования рассматриваются, например, в публикациях А.В. Баркова, А.В. Руссова, Б.Л. Герике, П.Б. Герике, А.А. Санникова, А.Г. Толстова и других авторов. Вопросами вибродиагностирования подвижного состава занимались В.А. Смирнов,

А.В. Барков, Н.А. Баркова, В.В. Федорищев [1], З.Г. Гиоев [2], В.Н. Костюков, А.В. Костюков [3] и другие специалисты. В известных публикациях приводятся классификация и история развития, примеры сравнения характеристик, особенности конкретного исполнения ВДО, но слабо отражены особенности диагностирования роторных узлов подвижного состава, не рассматриваются тенденции развития и пути совершенствования.

Следует отметить, что разработчики и производители ВДО неохотно делятся информацией о структуре аппаратной части и об алгоритмах работы и стоимости своих изделий.

В связи с этим полезным будет обсуждение особенностей применения вибродиагностирования на железнодорожном транспорте, тенденций развития ВДО, разбор примера конкретной реализации современных походов для создания его аппаратной части и программного обеспечения.

Особенности ВДО. Вибродиагностирование подшипниковых и редукторных узлов локомотивов, вагонов и путевых машин уже давно стало нормой на железнодорожном транспорте. Использование диагностического оборудования в технологическом процессе ремонта регламентировано рядом нормативных документов, например, [4, 5].

Диагностирование роторных механических узлов подвижного состава имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при создании аппаратной части диагностического оборудования и соответствующего программного обеспечения. К этим особенностям можно отнести:

1. Ограниченное время диагностирования.
2. Необходимость определения технического состояния объекта по однократному измерению.
3. Неприспособленность объектов к диагностированию.
4. Неблагоприятные условия работы (электромагнитные помехи, загрязненность объекта и окружающего пространства, нередко отрицательные значения температуры).

Перечисленные особенности имеют место и в других отраслях, но не так ярко выражены.

В зависимости от условий и объектов диагностирования используются стационарные или переносные системы. На сети Российских железных дорог эксплуатируется в основном следующее диагностическое оборудование:

комплексы типа «Прогноз», сборщики информации (в сочетании с ПЭВМ) «Вектор-2000», СД-11, СД-12, системы типа ОМСД, УДП, СКБУ, МПП. Упомянутые средства в различной степени учитывают вышеперечисленные особенности. Например, сборщики информации удобны в работе, имеют широкий диапазон рабочих температур, но как правило, работают с одним датчиком вибрации, что предопределяет последовательный съем информации с контрольных точек и неизбежную перестановку датчика. В результате увеличивается общее время диагностирования. Использование сборщиков обуславливает разрывную технологию диагностирования, которая не позволяет получать диагноз сразу после окончания съема информации с контрольной точки. Повторный съем информации в этом случае приводит к необходимости повторного выполнения подготовительных операций, которые занимают более половины общего времени диагностирования.

Используемая некоторыми разработчиками идеология «централизованного» удаленного диагностирования, имеет существенные недостатки, например, «оторванность» от объекта диагностирования, длинные линии связи.

Анализ российского и зарубежного опыта позволяет сделать заключение, что совершенствование вибродиагностического оборудования идет в следующих направлениях:

1. Повышение надежности работы.
2. Повышение достоверности диагностирования.
3. Увеличение глубины диагностирования.
4. Сокращение времени диагностирования.
5. Оптимизация пользовательского интерфейса.
6. Создание сопутствующего программного обеспечения с функциями обработки результатов баз данных, передачи информации в сеть и т.д.
7. Улучшение метрологических характеристик.

Надежность работы зависит от многочисленных факторов, к которым можно отнести применяемую элементную базу, схемотехнику, технологическую культуру производства, используемые материалы, конструкторские решения и т.д.

Повышение достоверности и глубины диагностирования достигается комплексными мерами: улучшением метрологических характеристик

аппаратной части, использованием нескольких методов диагностирования, нахождением и введением в алгоритмы новых диагностических признаков, самотестированием.

Сокращение времени диагностирования достигается введением параллельного съема и обработки сигналов, оптимизацией алгоритмов работы.

Пользовательский интерфейс должен быть удобным, интуитивно понятным, содержать как можно меньше действия для получения конечного результата (рис. 1, 2).

Сопутствующее программное обеспечение способно в значительной мере повысить эффективность использования вибродиагностического оборудования, в том числе и с помощью принятия обоснованных организационных и технических решений по результатам диагностирования.

Более чем двадцатилетний опыт создания и внедрения вибродиагностического оборудования позволил разработчикам учесть и железнодорожные особенности, и замечания пользователей в новых изделиях «Эксперт-Д» и «Эксперт М» (рис. 3, 4, 5).

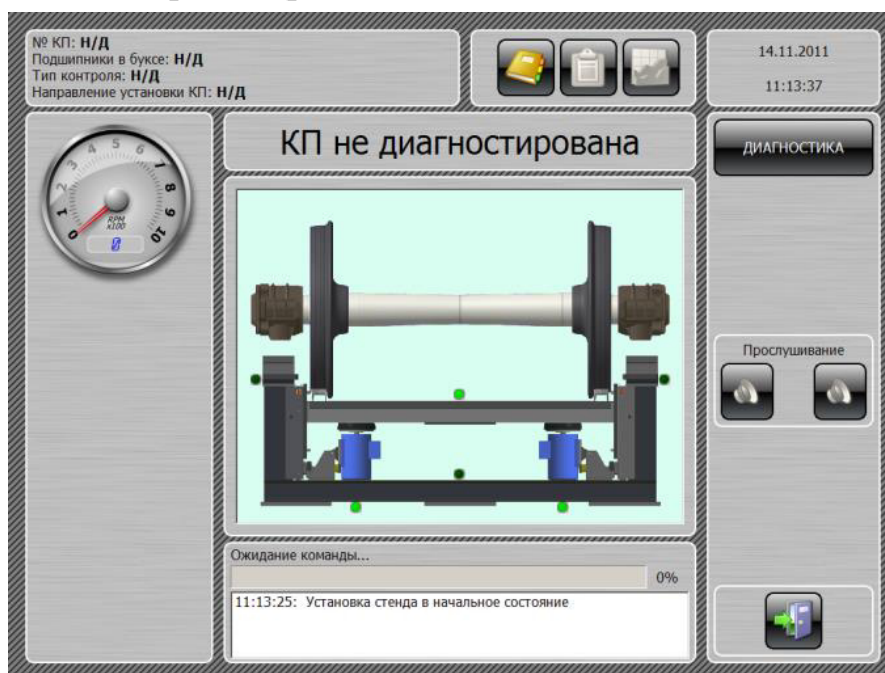


Рис. 1. Пользовательский интерфейс комплекса «Эксперт Д» -
занесение данных

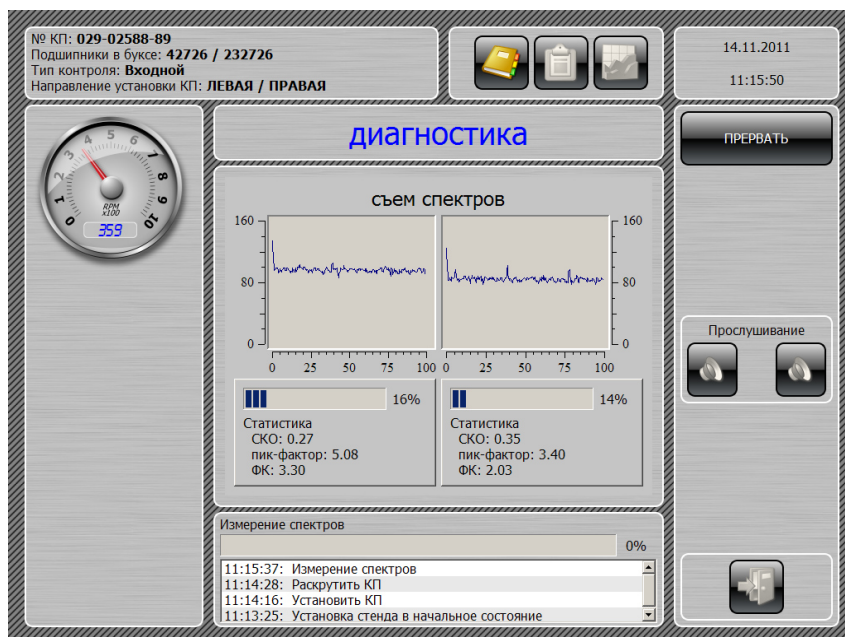


Рис. 2. Пользовательский интерфейс комплекса «Эксперт Д» -
диагностирование

Одна из основных особенностей, значительно повышающая надежность изделия заключается в том, что в нем отсутствует такое «слабое» звено, как серийная ПЭВМ. Практика эксплуатации ВДО в деповских условиях показала, что наиболее частые причины отказов - это выход из строя жестких дисков и соединения экрана с материнской платой компьютера. Взамен серийной ПЭВМ появился субблок промышленного компьютера собственной разработки, который выполнен в виде отдельной платы.



Рис. 3. Измерительно-диагностический блок «Эксперт Д»

Повышенная надежность в «Эксперт М» обеспечивается прочным корпусом и возможностью использования автономного питания, а также достаточно глубоким самотестированием.



Рис. 4. Комплекс диагностирования буксовых узлов колесных пар «Эксперт Д»

Достоверность и глубина диагностирования повышена за счет включения в алгоритм дополнительных диагностических признаков. Теперь осуществляется спектральный анализ трех видов спектров (широкополосный, прямой, спектр огибающей) и нескольких параметров временного сигнала, в том числе определяются СКЗ, пик фактор, величина фактора Куртозиса [6].

Сокращение времени диагностирования происходит за счет параллельного съема сигналов вибрации по 4 каналам. Время, затрачиваемое на диагностирование 4 точек (характерная конфигурация для диагностирования колесно-моторного блока локомотива) сократилось с 15 до 4 минут. Экономия времени происходит и за счет нового алгоритма записи временного сигнала с последующим вычислением и усреднением спектров (около 20 усреднений на каждую контрольную точку).



Рис. 5. Комплекс диагностирования колесно-моторных блоков локомотивов «Эксперт М»

Значительно удобнее по сравнению с предыдущими версиями стал пользовательский интерфейс, который позволяет осуществлять работу с комплексом пользователей с различным уровнем подготовки. Начинать самостоятельную работу можно будет, изучив руководство по эксплуатации. В этой ситуации очень полезным оказывается нововведение, реализованное на программном уровне и заключающееся в защите от возможных неправильных действий оператора. Например, комплекс имеет возможность выявлять факт неправильной установки (не в ту контрольную точку, которая указана в конфигурации) датчика вибрации. Это происходит путем оценки «похожести» текущего спектра со спектром «характерным» для такого типа контрольных точек. Естественно, что максимально использовать возможности диагностического комплекса смогут только специалисты, прошедшие специальную подготовку. Для таких пользователей дается возможность производить спектральный анализ «вручную», возможность с помощью «тонких настроек» осуществлять ряд действий, направленных на уточнение диагноза.

ВДО типа «Эксперт» нашло широкое применение при входном и выходном контроле буксовых узлов колесных пар вагонов.

Краткие характеристики комплексов типа «Эксперт»:

Назначение:

- Диагностирование роторных механических узлов (подшипников качения, зубчатых передач) по вибрации, частоте вращения и другим параметрам

- Прогнозирование срока безаварийной работы диагностируемых узлов
- Выдача рекомендаций по дальнейшей эксплуатации
- Оперативное отображение состояния парка
- Контроль за работой средств диагностики

Функциональные возможности:

- оценка технического состояния подшипников качения и зубчатых передач;

- определение 12 видов дефектов и степени их развития;
- определение недостатка и посторонних включений в смазке;
- оперативная настройка на разные типы объектов;
- анализ накопленных баз данных;
- формирование рекомендаций и отчетов в т.ч. и о состоянии парка;

Технические характеристики:

- подтверждаемость диагноза 90% и выше;
- время диагностирования четырех точек не более 2 мин.;
- до 32 каналов измерения вибрации, до 8 каналов измерения частоты вращения, регистрация давления;
- автономная работа от встроенного аккумулятора
- рабочий диапазон температур от -20 до +50°C;
- вес 1,6 кг.

Особенности диагностических комплексов типа «Эксперт»:

- одновременный съем информации по 4 каналам;
- самотестирование устройства и подключенных сигнальных линий;
- получение результатов сразу после диагностирования, непосредственно у объекта;
- прослушивание вибросигналов с контролируемых узлов;
- нет необходимости в заземлении;
- снижение последствий ошибочных действий оператора (за счет комплекса программных и аппаратных решений);
- использование операционной системы uClinux (свободная лицензия);
- применяется при всех видах ремонта и профилактики в депо и на заводах;
- модуль комплекса (одноплатный компьютер) может заменить персональный компьютер в составе различных АРМов.

Интеграция в проект «Цифровая железная дорога». Достаточно длительный опыт внедрения ВДО на сети железных дорог показал, что для повышения эффективности его использования необходимо предпринять ряд дополнительных мер. Речь идет не об обязательных мероприятиях по поддержанию работоспособности диагностического оборудования (например, периодическая калибровка и техническое обслуживание). Массовое внедрение изначально предполагает создание системы проверки метрологических характеристик, системы обучения, системы технического обслуживания и ремонта. Речь идет о создании автоматического контроля за использованием диагностического оборудования, а также создании систем «второго уровня» использования диагностической информации, т.е. утилизации (статистической

обработке) накопленной диагностической информации, подготовки и передаче сведений на различные управленческие уровни. Результатом решения поставленных вопросов стала разработка серверного программного обеспечения под названием «ЦУД» – центр управления диагностикой.

С помощью ЦУДа, например, можно определить, какие узлы колесно-моторных блоков локомотивов наиболее часто выходят из строя, какие неисправности и в каких элементах подшипника преобладают и т.д. ЦУД дает возможность получить интегральную оценку технического состояния парка локомотивов в депо, оценить качество работы бригад диагностики (ведется автоматический учет времени работы диагностического оборудования, количества продиагностированных узлов, обнаруженных дефектов и т.д.). Полученная информация подготавливается к передаче по железнодорожной сети *intranet*, или *internet* на различные управленческие уровни. Анализ такой информации дает основания к принятию взвешенных, обоснованных организационных и технических решений.

Идеи и программные решения, заложенные в Центр управления диагностикой, по сути являются элементами новой информационной идеологии (проекта), принятой к реализации в ОАО «РЖД» - «Цифровая железная дорога». Блок цифрового сервиса «управление инфраструктурой» этого проекта предполагает сбор и обработку информации, относящейся к:

- планированию технического обслуживания, текущего состояния, эксплуатации и ремонтов;
- диагностике;
- учету.

В отношении подвижного состава одной из целей проекта является «предсказательная диагностика технического состояния». Такая диагностика должна основываться на единой технологической базе и единой технологии обработки данных, использовании математического моделирования и элементов искусственного интеллекта.

Диагностическое оборудование является первичным звеном в этой цепочке. Для полноценной интеграции в проект «цифровая железная дорога» диагностическое оборудование должно удовлетворять нескольким обязательным требованиям. Эти требования еще не «озвучены» руководителями проекта. Вряд ли будет принято решение о разработке новых

средств диагностирования, обладающих необходимыми свойствами и возможностями – это будет экономически не целесообразно. В связи с этим обстоятельством потребуется доработка как минимум программного обеспечения существующего оборудования. Одним из необходимых условий функционирования в проекте является гармонизация, выходной информации – протоколов обмена, форматов передачи данных и т.д.

На настоящий момент на сети железных дорог используются в основном восемь типов ВДО. Все они имеют различный интерфейс, часть оборудования не имеет возможности передачи информации в сетевую структуру. Базы данных этих средств имеют различную структуру и не стыкуются друг с другом. Приведение указанных параметров к «общему знаменателю» требует внешней координации действий со стороны ОАО «РЖД» путем проведения на первом этапе совещаний, по результатам которых будет выработаны консолидированные пути решения задач, на втором – разработка и принятие нормативных документов с требованиями к диагностическому оборудованию и источниками финансирования для реализации этих требований. По мнению авторов, даже при наличии таких требований и финансирования, процесс доработки ВДО может растянуться на 1,5 – 2 года.

Перспективы развития ВДО. Перспективным направлением в вибродиагностике является использование нетрадиционных методов цифровой обработки сигналов. В последние годы появляются публикации по использованию в вибродиагностике кепстров (спектр спектра), вейвлет преобразований. Просматривается и использование в вибродиагностике теории нечетких множеств и теории распознавания образов.

Одной из важных задач диагностирования является прогнозирование технического состояния. Вопрос прогнозирования очень сложный, включающий в себя множество неопределенностей [7]. Для правильного прогнозирования, как минимум, необходимы две базовые вещи: первая – это возможность определения (идентификации) максимально возможного количества дефектов и степени развития каждого дефекта, вторая – наличие моделей развития каждого из видов дефектов. Вибродиагностическое оборудование ведущих производителей способно различать до 12 видов дефектов и оценивать степень их развития. Что касается моделей развития дефектов, то до настоящего времени публикаций по данной теме замечено не

было. Такие модели могут быть получены с помощью теоретических исследований, в результате специальных стендовых испытаний и наблюдениями за техническим состоянием в процессе эксплуатации. Все эти способы являются достаточно затратными.

Дальнейший прогресс в области диагностирования подвижного состава железных дорог, вероятно, будет связан с введением в диагностические системы алгоритмов самообучения. Элементы самообучения уже сейчас присутствуют в некоторых диагностических системах.

Следует сказать и о таком перспективном направлении в вибродиагностике как введение в практику виртуальных (электронных) эталонов дефектов [8, 9], которые позволят производить объективную оценку функциональных возможностей (наиболее важных для пользователей) вибродиагностического оборудования.

Выводы

1. Условия диагностирования подвижного состава железных дорог предъявляют особые требования к вибродиагностическому оборудованию.

2. Для подвижного состава железных дорог предпочтительнее «неразрывная» технология диагностирования (получение диагноза сразу после съема информации).

3. Ноутбуки и серийные ПЭВМ не целесообразно использовать в системах диагностирования, которые эксплуатируются в цеховых условиях.

4. Для повышения достоверности и глубины диагностирования следует использовать сочетание различных методов, вводить в алгоритмы новые диагностические признаки дефектов.

5. Перспективными методами обработки вибросигналов могут стать: вейвлет преобразование, математический аппарат нечетких множеств, нейронные сети и теория распознавания образов.

6. Для повышения эффективности диагностических средств необходимо использовать результаты статистической обработки диагностических баз данных.

7. Объективную оценку функциональных возможностей вибродиагностического оборудования можно будет осуществлять путем введения в практику виртуальных эталонов дефектов.

8. Необходимы организационные мероприятия по интеграции диагностического оборудования в проект «Цифровая железная дорога».

Список литературы

1. Барков, А. В. Вибрационная диагностика колесно-редукторных блоков на железнодорожном транспорте / А. В. Барков, Н. А. Баркова, В. В. Федорищев – СПб.: Изд. Центр СПбГМТУ, 2002, 103 с.
2. Гюев, З. Г. Основы виброакустической диагностики электромеханических систем локомотивов: Монография / З. Г. Гюев - М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2008. – 307 с.
3. Костюков, А. В. Формирование вектора независимых диагностических признаков технического состояния роторных агрегатов / А. В. Костюков // Сборник научных трудов МГТУ им. Н.Э. Баумана, М, 2010г, С. 26 – 30
4. Вибрационное диагностирование узлов локомотивов ПКБ ЦТ.06.0050; ОАО «РЖД». – Москва, 2012. – 76 с.
5. Руководство по вибродиагностике подшипников буксовых узлов вагонных колесных пар РД 32 ЦВ 109-2011, ОАО «РЖД». – Москва, 2011. – 14 с.
6. Фактор Куртозиса как диагностический признак неисправности подшипника. / В. Ю. Тэттер, В. И. Щедрин и др. // Контроль. Диагностика. – 2010. – №3 (141). – С. 28 – 34.
7. Русов, В. А. Спектральная вибродиагностика / В. А. Русов – Пермь, 1996.
8. Тэттер, В. Ю. «Эталоны» неисправностей для диагностики роторных механических узлов / В. Ю. Тэттер// Мир измерений. – 2007. – №10. – С. 7 – 10.
9. Tetter V. Virtual standards of vibration-based defects diagnostics in railway industry / International Scientific Journal Transport Problems. - 2009. Volume 4. - Issue 2.- P. 67 – 72.

В. В. Харламов, Д. И. Попов, А. П. Афонин

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕИДЕНТИЧНОСТИ КОММУТАЦИОННЫХ ЦИКЛОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ КОЛЛЕКТОРНО- ЩЕТОЧНОГО УЗЛА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В статье показана необходимость учета параметров закона распределения интенсивности искрения в процессе диагностирования состояния коллекторно-щеточного узла. Обоснованы векторные параметры диагностирования, отражающие неидентичность коммутационных циклов. Предложена форма отображения новых диагностических параметров в виде трехмерных векторов.

Причины искрения щеток коллекторных тяговых двигателей разнообразны по своей природе [1]. Осциллограммы импульсов искрения показывают, что каждый коммутационный цикл не повторяет предыдущий, что объясняется случайным характером неидентичности физических процессов, обуславливающих искрение. Следовательно, обобщить экспериментальные данные и более детально проанализировать состояние коммутации тяговых электрических машин можно, применяя аппарат математической статистики и теорию случайных процессов [2].

Для получения основных характеристик законов распределения интенсивности искрения коллекторных электрических машин постоянного тока (МПТ) проведены экспериментальные исследования на машине П31, т. к. принципиально коммутационный процесс в тяговом двигателе и двигателях малой мощности можно считать подобным. Интенсивность искрения задавалась изменением магнитодвижущей силы добавочных полюсов. По осциллограммам диагностического сигнала, полученного с разнополярных щеток испытуемой машины, выявлено, что искрение в процессе эксперимента происходило только в секциях, лежащих последними в паузу. Для определения интенсивности искрения у каждого импульса подсчитывался его интеграл по времени (сумма оцифрованных значений напряжения), отражающий энергию импульса искрения. Последние секции в паузу, коммутация которых

закончилась без искрообразования, учитывались при подсчете, а остальные секции паза при подсчете не учитывались. Полученные гистограммы распределения интенсивности искрения приведены на рис. 1 для трех режимов работы с различной степенью искрения. Степень искрения оценена визуальным методом по ГОСТ 183-74.

Проанализируем, как изменяются такие параметры закона распределения как среднеквадратическое отклонение (СКО) (σ), косость (α) и крутость ($\mathfrak{t}$) [3].

Расчет данных параметров можно выполнить по выражениям:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (N_j - \bar{A})^2 A_j}{n}}; \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{\sigma^3} \cdot \frac{\sum_{j=1}^k (N_j - \bar{A})^3 A_j}{n}; \quad (2)$$

$$\mathfrak{t} = \frac{1}{\sigma^4} \cdot \frac{\sum_{j=1}^k (N_j - \bar{A})^4 A_j}{n} - 3, \quad (3)$$

где A – значение интенсивности искрения, найденное как площадь импульса,
 j – номер интервала значений интенсивности искрения,
 k – количество интервалов,
 N_j – количество импульсов искрения, попавших в интервал с индексом j ,
 n – количество зафиксированных импульсов искрения,
 $\bar{A}$ – математическое ожидание интенсивности искрения.

При настройке коммутации, соответствующей степени искрения 1 балл (рис. 1 а, б), присутствуют импульсы искрения обеих полярностей, которым соответствует закон распределения близкий к экспоненциальному. Такой форме закона распределения соответствует относительно небольшое значение СКО и относительно большие положительные значения как косости, так и крутости.

При увеличении степени искрения до 1¼ балла и далее до 1½ балла (рис. 1, в, г) математическое ожидание на гистограмме смещается вправо. При этом СКО увеличивается, косость и крутость снижаются и даже могут принимать отрицательные значения.

При дальнейшем увеличении степени искрения до 2 баллов (рис. 1, д) СКО резко возрастает, косость принимает относительно небольшое значение, а крутость становится отрицательной. При этом закон распределения становится двухмодальным – явно присутствуют две вершины. Правая вершина, соответствующая более интенсивному искрению, обусловлена искрением секций, лежащих последними в пазах сердечника якоря. Левая вершина, обусловлена искрением остальных секций, подключившихся к процессу искрения, при ухудшении электромагнитной настройки машины.

Полученные в результате исследований осциллограммы (рис. 2) показывают, что в следствие неидентичности коммутационных циклов изменяется не только интенсивность искрения различных коллекторных пластин за один оборот, но и интенсивность искрения одной и той же пластины за время нескольких оборотов. В первом случае это связано в большей степени со сложным профилем коллектора, имеющим перепады высот коллекторных пластин, а во втором – с изменением напряжения питания, момента на валу и вибрацией машины.

В работе [4] с использованием графоаналитического метода получены двудольные графы соответствия дефектов и диагностических параметров коллекторно-щеточного узла (КЩУ) определяющие средний уровень искрения, а также неидентичность коммутационных циклов во времени и по коллектору. Однако как показывают результаты испытаний, приведенные на рис. 1, параметры закона распределения в отдельности (СКО σ , косость α и крутость i) не в полной мере характеризуют состояние коммутации в машине. Более полно охарактеризовать форму закона распределения и численно увязать результаты испытаний с неисправностями, обусловившими искрение той или иной степени, возможно только за счет совместного применения всех трех параметров.

Таким образом, неидентичность коммутационных циклов вдоль окружности коллектора можно численно охарактеризовать следующими параметрами закона распределения интенсивности искрения: СКО по коллектору (σ_k), косость (α), крутость (i), а неидентичность во времени: СКО во времени (σ_v), косость (α), крутость (i).

Для упрощения обозначений введем параметры неидентичности во времени и по коллектору: $\overline{\PiН}_в = \{\sigma_k, \alpha, i\}$ и $\overline{\PiН}_к = \{\sigma_v, \alpha, i\}$, представляющие собой трехмерные векторы, характеризующие форму закона распределения

интенсивности искрения. Графическое изображение предложенных параметров неидентичности коммутационных циклов приведено на рис. 3.

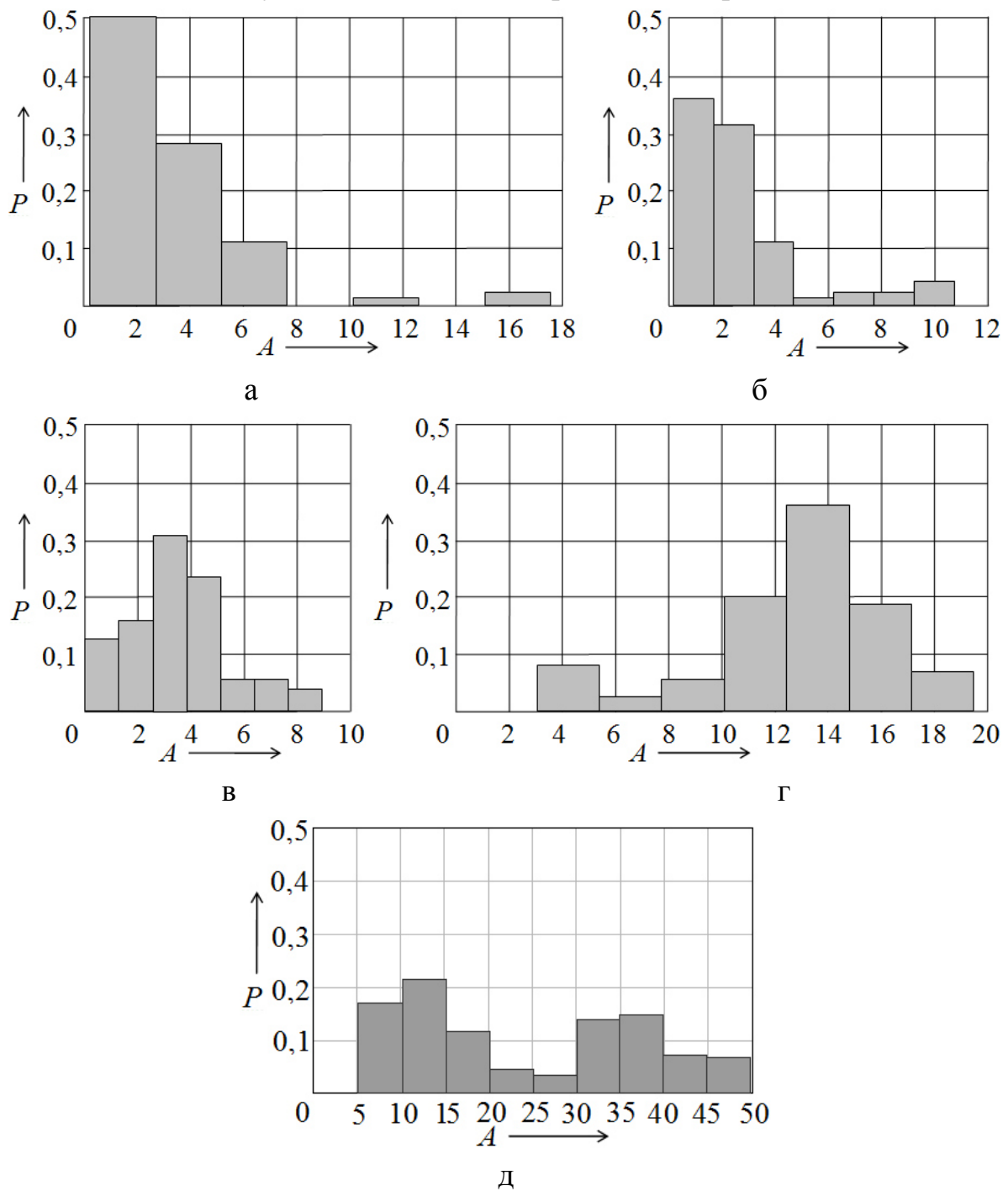


Рис. 1. Гистограммы распределения интенсивности искрения коллекторных пластин при различной степени искрения:

- а – 1 балл (импульсы недокоммутации), $\sigma = 3,5$, $\alpha = 2,41$, $\iota = 5,92$;
- б – 1 балл (импульсы перекоммутации), $\sigma = 2,9$, $\alpha = 1,29$, $\iota = 0,39$;
- в – $1\frac{1}{4}$ балла (импульсы недокоммутации), $\sigma = 2,1$, $\alpha = 0,55$, $\iota = 0,06$;
- г – $1\frac{1}{2}$ балла (импульсы недокоммутации), $\sigma = 5,3$, $\alpha = -0,87$, $\iota = 0,36$;
- д – 2 балла (импульсы недокоммутации), $\sigma = 13,2$, $\alpha = 0,25$, $\iota = -1,40$

В процессе диагностирования для выявления неисправностей необходимо сопоставить данные параметры с областями их допустимых значений. Если обозначить множества допустимых значений параметров следующим образом: $\Sigma_{в доп} \in \{\sigma_{в доп 1}, \sigma_{в доп 2}, \dots, \sigma_{в доп N}\}$, $\Sigma_{к доп} \in \{\sigma_{к доп 1}, \sigma_{к доп 2}, \dots, \sigma_{к доп N}\}$, $A_{доп} \in \{\alpha_{доп 1}, \alpha_{доп 2}, \dots, \alpha_{доп N}\}$, $I_{доп} \in \{I_{доп 1}, I_{доп 2}, \dots, I_{доп N}\}$. Тогда можно записать:

$$\overline{ПН}_в \in \{\Sigma_{в доп}, A_{доп}, I_{доп}\}; \quad (4)$$

$$\overline{ПН}_к \in \{\Sigma_{к доп}, A_{доп}, I_{доп}\}. \quad (5)$$

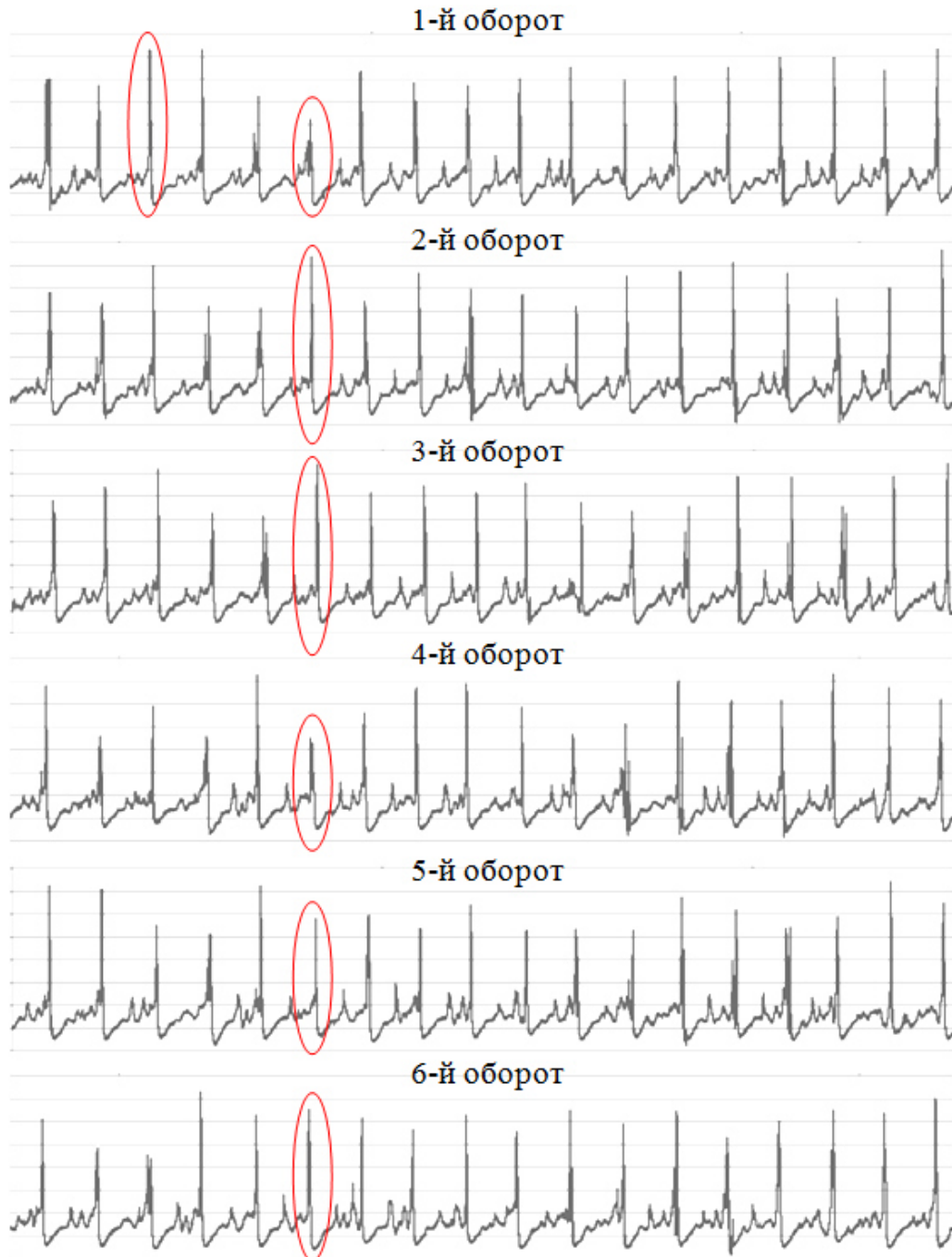


Рис. 2. Сигнал искрения с разнополярных щеток за несколько оборотов ротора.

При лучшей настройке машины векторы $\overline{\text{ПН}}_в$ и $\overline{\text{ПН}}_к$ стремятся занять определенное положение в пространстве: СКО ($\sigma_к$ и $\sigma_в$) уменьшаются, косость и крутость (α и ι) увеличиваются в положительном направлении. При ухудшении условий коммутации значения СКО ($\sigma_к$ и $\sigma_в$) увеличиваются, однако значения косости и крутости (α и ι) убывают не монотонно: в процессе убывания могут присутствовать локальные максимумы, что нужно учитывать в процессе диагностирования.

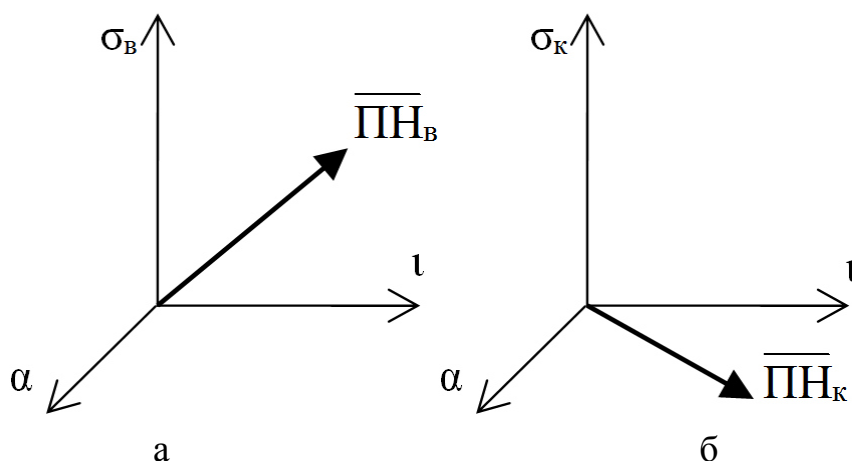


Рис. 3. Комплексные трехмерные векторные параметры неидентичности коммутационных циклов: а – параметр неидентичности во времени, б – параметр неидентичности по коллектору

Предложенные диагностические параметры позволяют повысить информативность и достоверность процесса диагностирования состояния коллекторно-щеточного узла тяговых двигателей постоянного тока с учетом неидентичности коммутационных циклов.

Список литературы

1. Копылов, И. П. Электрические машины : учебник для академического бакалавриата [Текст] / И. П. Копылов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2015. – 674 с.
2. Авилов, В. Д. Оптимизация коммутационного процесса в коллекторных электрических машинах постоянного тока: монография [Текст] / В. Д. Авилов. Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2013. – 356 с.

3. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений [Текст] / А. К. Митропольский. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1971. – 576 с.

4. Повышение достоверности диагностирования коллекторно-щеточного узла электрических машин с учетом неидентичности коммутационных циклов [Текст] / В. В. Харламов, Д. И. Попов – Омский научный вестник. Электротехника. Энергетика. Ч. 1. – 2016. – №4 (148). – С. 65 – 69.

УДК 621.316

В. Т. Черемисин, Е. А. Третьяков

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Инновационное развитие электросетевой компании направлено на создание устойчивой, эффективной, гибкой и интеллектуальной электрической инфраструктуры. Целью исследования является повышение эффективности транспорта электроэнергии в системе электроснабжения ремонтных предприятий железных дорог за счет интеллектуальных технологий управления мощностью.

В последние годы активно развиваются технологии повышения управляемости электроэнергетических систем. Одним из приоритетных направлений исследований [3] является разработка методов и средств интеллектуального управления мощностью в распределительных электрических сетях с целью повышения пропускной способности, ограничения перегрузки участков сетей, повышения качества электроэнергии, надежности электроснабжения потребителей, в том числе в послеаварийных и ремонтных режимах [1]. Как известно достижение указанной цели в основном определяется разработкой и внедрением систем автоматического оптимального управления секционированием и потоками мощности в распределительных сетях, управления напряжением с помощью локальных регуляторов, автоматического восстановления нормального режима работы электрических сетей и электроснабжения потребителей.

Применительно к рассматриваемым электрическим сетям в рамках реализуемых подходов к управлению транспортом и распределением электроэнергии на основе агентного подхода [3] управление потоками мощности имеет особенности, связанные с децентрализацией вычислительных оптимизационных процедур и их координацией между энергорайонами. При этом указанные энергорайоны, характеризующиеся сильными связями между узлами электрической сети, могут динамически менять свои границы в зависимости от режимов работы сети.

Основной проблемой данного исследования является оценка эффективности практических методов управления мощностью в распределительных электрических сетях ремонтных предприятий железных дорог.

Как известно электрическая сеть неоднородна и неравнопрочна. В частности, это проявляется в том, что параметры режима некоторых элементов электрической сети (узлов, связей) в среднем относительно сильнее реагируют на возмущения. Возмущения, прикладываемые в разные места электрической сети, вызывают заметную реакцию одних и тех же параметров режима: при разной локализации возмущений больше всего изменяются модули напряжения в одних и тех узлах, перегружаются по току одни и те же элементы.

Для выявления узлов, параметры режима которых наиболее чувствительны к таким внешним возмущениям, как изменения активных ΔP и реактивных ΔQ нагрузок используется линеаризованное уравнение:

$$\begin{pmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{pmatrix} = J^{-1} \begin{pmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $\Delta \delta$, ΔU – изменения фаз и модулей напряжения;

J – матрица Якоби для баланса мощности в полярных координатах.

Максимальные значения чувствительности напряжений в узлах исследуемой схемы (рис.1) к изменению активной и реактивной мощности соответствуют узлу 3, который является сенсорным.

Результаты расчетов частных производных небалансов матрицы Якоби для схемы распределительной сети представлены на рис. 2 (диагональные элементы). Максимальные значения чувствительности напряжений в узлах исследуемой схемы к изменению активной мощности соответствуют узлу 1, к изменению реактивной мощности – узлу 5, которые являются сенсорным.

Анализ потоков мощности и потерь активной и реактивной мощности по линиям свидетельствует о неоднородности электрической сети. Например, при протекании по линиям 5 и 6, одинаковой мощности нагрузки разница в потерях мощности достигает трех раз. Наибольшие значения активной и реактивной мощности в линиях достигаются по линиям 4, 7, 10 (рис. 3).

В соответствии с общепринятыми подходами [2, 4] слабым местом электрической сети могут быть:

- ветвь, если изменение ее сопротивления позволяет существенно уменьшить показатели сенсорности;
- узел, если поддержание напряжения в нем за счет источника реактивной мощности или/и включение шунтирующего сопротивления приводит к тем же эффектам;
- сечение, если одновременное изменение сопротивлений входящих в него ветвей приводит к тем же эффектам.

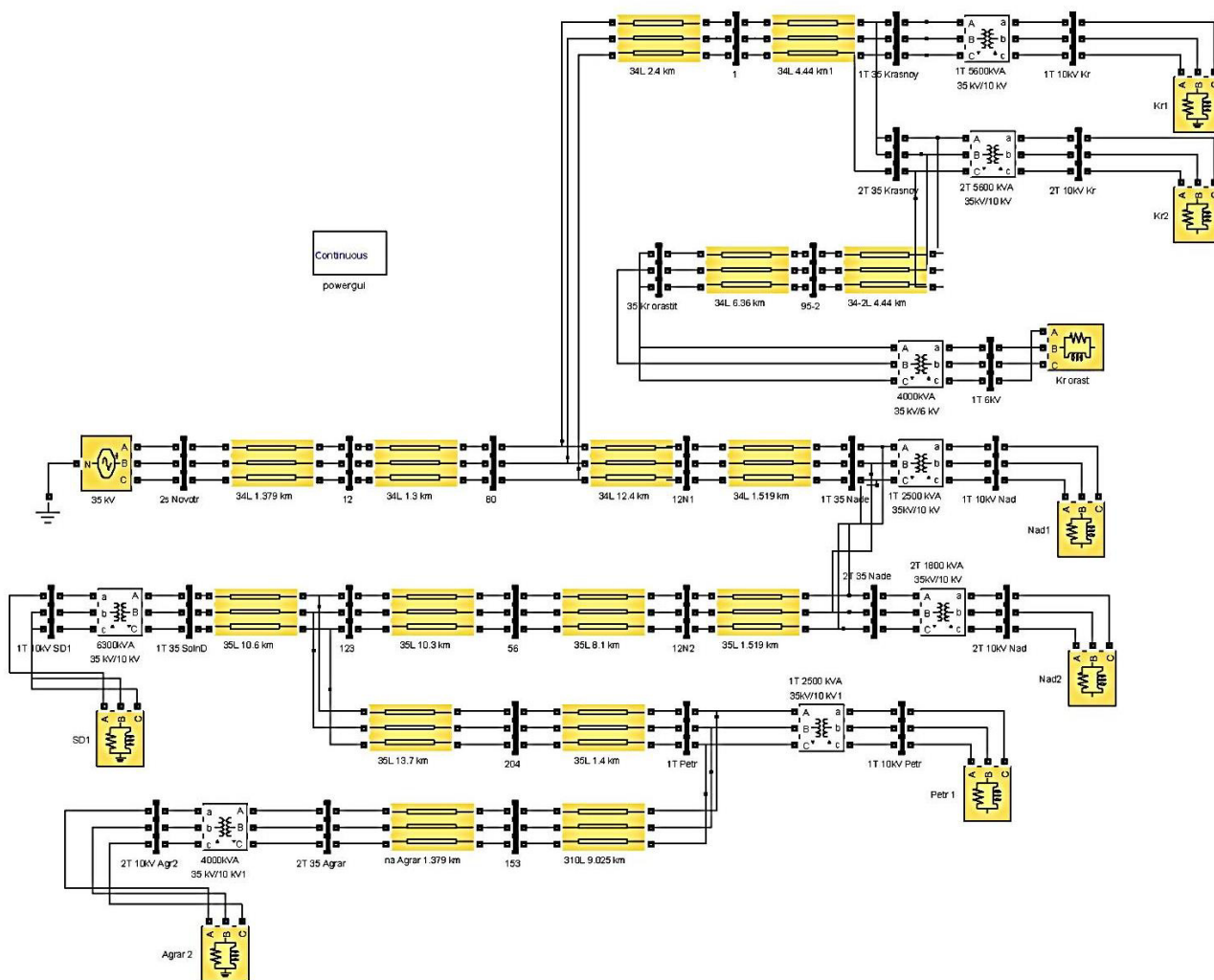


Рис. 1. Имитационная модель рассматриваемого участка электрической сети в Matlab Simulink

Эффективным мероприятием по усилению сети является увеличение проводимости ветвей, примыкающих к сенсорным узлам, а также введение шунтов.

Как показали представленные выше исследования слабость ветви определяется не только топологией схемы сети, но и параметрами текущего режима. Кроме оценок потерь мощности в линиях (ветвях) рассматриваемого участка сети информативным параметром является загрузка линий по передаваемой полной мощности (току) и плотность тока.

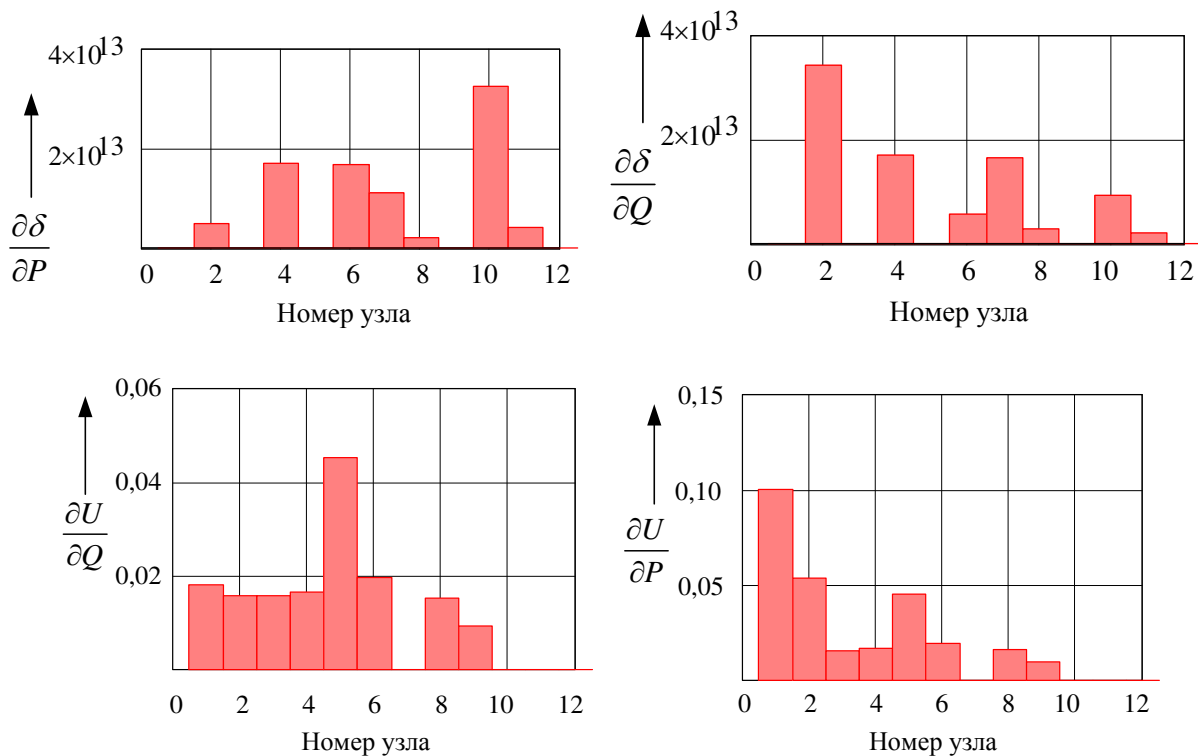


Рис. 2. Визуализация матрицы чувствительности (диагональных элементов обратного Якобиана)

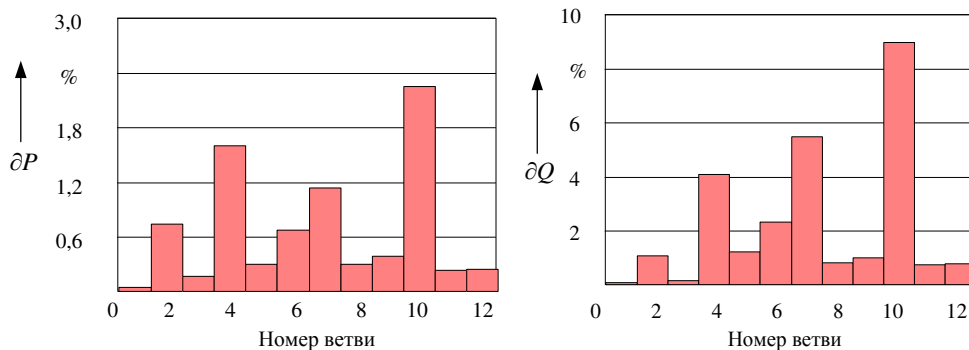


Рис. 3. Потери активной и реактивной мощности в линиях

В табл. 1 представлены расчетные значения загрузки линий по току (по данным измерений в режиме максимальных нагрузок) по участкам электрической сети.

Таблица 1

Расчетные значения загрузки линий по току

№ п/п	Наименование линий	Сечение линии, мм ²	Расчетный полный ток, А	Номинальный ток линии, А*	Загрузка линии по току, %
1	3 от 1 сш	95	0,46	240,0	0,19
2	4 от 1 сш	50	0,47	125,0	0,38
3	5 от 1 сш	50	104,85	125,0	83,88
4	6 от 1 сш	95	104,84	240,0	43,68
5	1 от 2 сш	95	31,91	240,0	13,30
6	2 от 2 сш	70	31,90	180,0	17,72
7	3 от 2 сш	70	48,62	180,0	27,01
8	4 от 2 сш	70	48,60	180,0	27,00
9	5 от 2 сш	70	37,99	180,0	21,11
10	6 от 2 сш	70	86,07	180,0	47,82
11	7 от 2 сш	95	86,05	240,0	35,85
12	8 от 2 сш	70	86,04	180,0	47,8
13	9 от 2 сш	70	111,27	180,0	61,82
14	10 от 2 сш	95	111,26	240,0	46,36
15	11 от 2 сш	95	111,24	240,0	46,35
16	12 от 2 сш	95	111,22	240,0	46,34

*номинальный ток линии соответствует экономической плотности тока согласно ПУЭ и не равен номинальному току трансформатора по рассматриваемому присоединению.

К основным техническим решениям, направленным на обеспечение пропускной способности лимитирующих участков рассматриваемой электрической сети, качества электроэнергии в послеаварийных и ремонтных режимах можно отнести: увеличение проводимости узлов за счет примыкающих ветвей и установки «шунтов» (генерации активной и реактивной

мощности); увеличение проводимости ветвей для повышения их пропускной способности, снижения падений напряжений в них и снижения неоднородности; увеличение установленной мощности силовых трансформаторов подстанции 110/35/10 (и всего сопутствующего электрооборудования); изменение схем питания для перераспределения нагрузки между подстанциями; строительство новых линий электропередач; перевод линий и подстанций 35 кВ на более высокий класс напряжения.

Для усиления «слабого» узла 5 предлагается увеличение проводимости примыкающей ветви 5 (10,6 км АС 70) за счет увеличения сечения с выбором провода АС 95 (рис. 4) и (или) введение генерации реактивной мощности за счет установки КУ со ступенью 300 кВар.

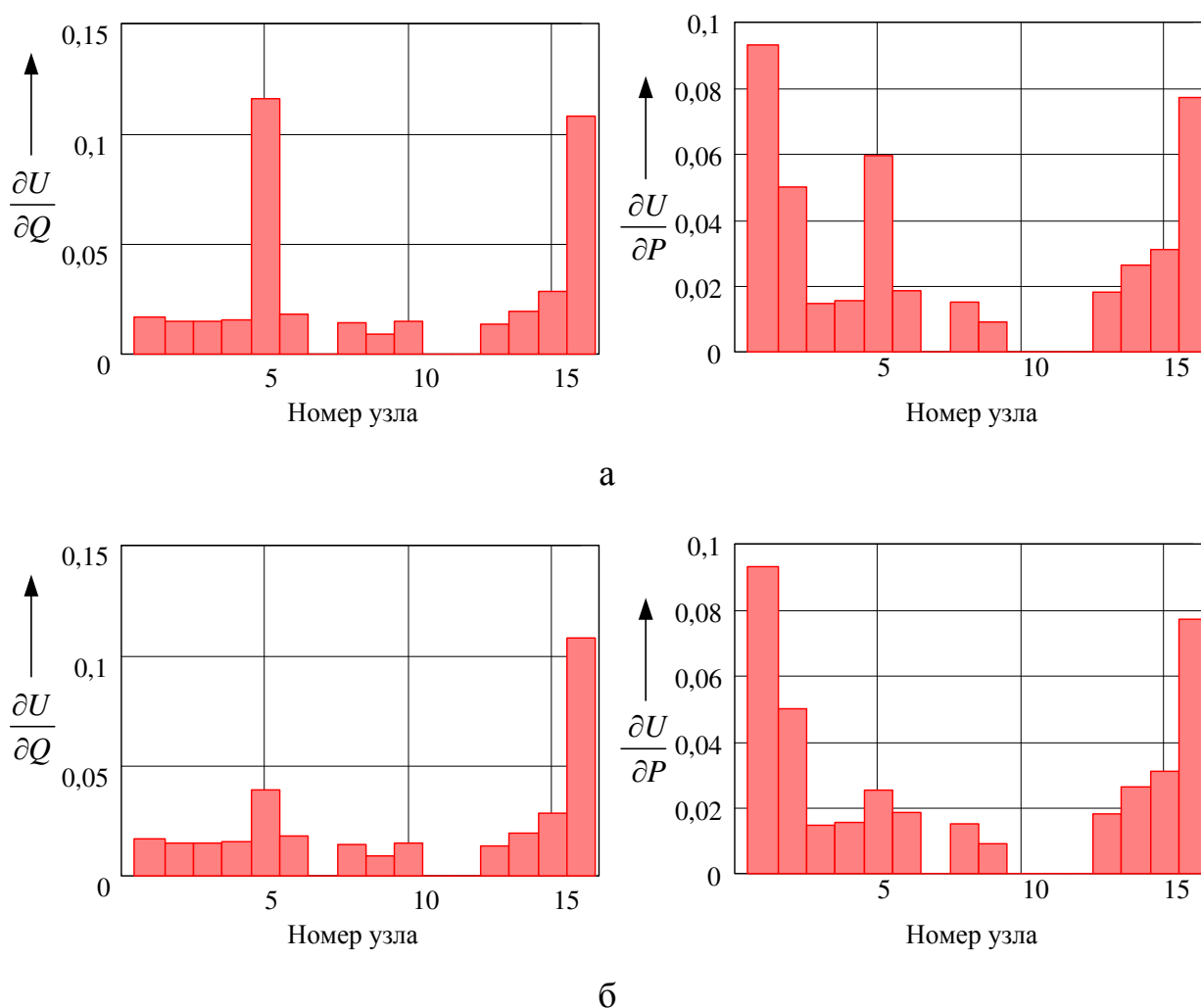
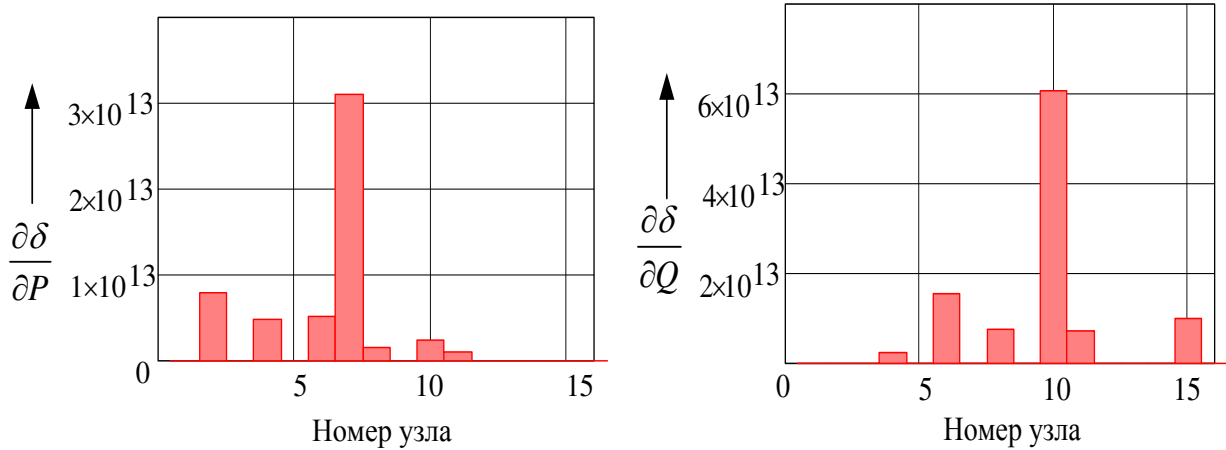
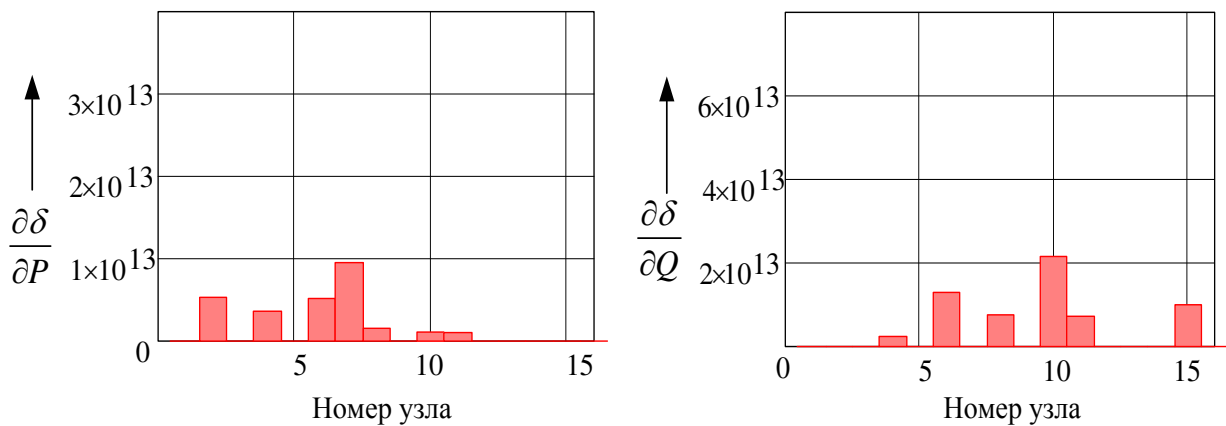


Рис. 4. Визуализация матрицы чувствительности (диагональных элементов обратного Якобиана) до (а) и после (б) увеличения проводимости примыкающей ветви 5 – 2 (исходный послеаварийный режим)

Для усиления «слабых» ветвей предлагается увеличить сечение линий на участках 3+4 (123-1Т, 35 Ц протяженностью 1,7+13,7 км АС 70), 7 (12-56 35Ц протяженностью 8,1 км АС-95), 10 (80-12 34Ц протяженностью 12,4 км АС 95) на одну ступень номинала сечений проводов типа АС.



а



б

Рис. 5. Визуализация матрицы чувствительности (диагональных элементов обратного Якобиана) до (а) и после (б) увеличения проводимости ветвей (исходный послеаварийный режим)

Таким образом, в нормальных режимах работы перегрузка линий и электрооборудования не достигает предельных значений; схема электроснабжения не обеспечивает возможность надежного питания всех потребителей ремонтного предприятия железных дорог в послеаварийных и

ремонтных режимах. В послеаварийных и ремонтных режимах происходит перегрузка элементов сети и снижение качества электрической энергии.

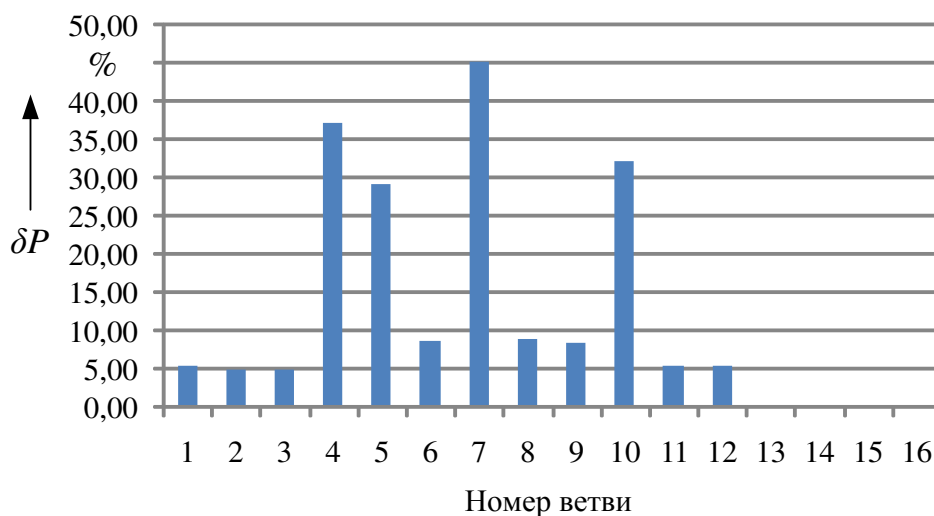


Рис. 6. Снижение падений напряжений в линиях и потерь мощности в них после увеличения сечений.

Предложены практические методы управления мощностью, направленными на повышение экономичности и пропускной способности электрической сети за счет управления режимами, внедрения устройств компенсации реактивной мощности, усиления электрической сети.

Список литературы

1. Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации (на период до 2030 года) / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2013 г. N 511-р.
2. Гамм, А. 3. Сенсоры и слабые места в электроэнергетических системах [Текст] / А. 3. Гамм, И. И. Голуб – Иркутск: СЭИ СО РАН, 1996. – 99 с.
3. Черемисин, В. Т. Совершенствование методов и средств управления транспортом и распределением электроэнергии в системах электроснабжения стационарных потребителей железных дорог: монография [Текст] / В. Т. Черемисин, Е. А. Третьяков – Омск: ОмГУПС, 2017. – 169 с.
4. Веников, В. А. Электрические сети: учеб. пособие для вузов [Текст] / В. А. Веников, А. А., Глазунов, Л. А. Жуков. – М.: Высшая школа, 1998. – 511 с.

В. И. Иванченко, А. А. Комяков, В. В. Эрбес

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В работе представлено описание основных элементов и принципа работы устройства, реализующего бесконтактный метод контроля времени работы электрооборудования, что в свою очередь необходимо для расчетов показателя энергетической эффективности производственного процесса и ресурса электрооборудования для планирования технического обслуживания и ремонта. Полученные результаты позволяют обосновать возможность применения предлагаемого устройства на объектах электроснабжения предприятий по ремонту подвижного состава.

К числу значимых категорий затрат предприятий по ремонту подвижного состава относятся потребление энергоресурсов, обновление оборудования, его техническое обслуживание и ремонт. Это относится, в частности, к электрооборудованию предприятий: трансформаторы, электродвигатели станков, электрическое освещение и др.

На сегодняшний день в мировой практике недостаточно широко распространены технологии и технические решения, позволяющие осуществлять непрерывный учет потребления электрической энергии и времени наработки электрооборудования в цехах и на производственных участках с учетом изменения влияющих на них факторов (производственных и климатических). В результате не представляется возможным выполнить полноценное исследование электропотребления на предприятии. Такое исследование позволило бы сделать шаг к решению важных производственных задач, таких как устранение нерационального электропотребления или установление периодичности технического обслуживания и ремонта электрооборудования.

Решением данной проблемы является разработка интеллектуальной системы управления энергетической эффективностью эксплуатации электрооборудования предприятий, включающую в себя технологию и

технические средства, реализующие эффективное управление электропотреблением. Следует отметить, что повышение энергетической эффективности в современных условиях является одним из направлений, способствующих повышению конкурентоспособности железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг [1].

В расчетах энергетической эффективности фигурирует время работы электрооборудования, что говорит о необходимости его учета. Отвечающее современным требованиям устройство учета времени наработки электрооборудования может стать частью программно-аппаратного комплекса для контроля электропотребления и управления энергетической эффективностью производственных процессов, который, в свою очередь, представляется частью названной выше интеллектуальной системы.

В числе российских изобретений можно найти продукт, представляющий из себя способ и устройство для контроля времени наработки электроэнергетического оборудования, при использовании которого производится измерение тока в питающем кабеле контактным способом [2].

Необходимость измерения тока в питающем кабеле, что в большинстве случаев требует вмешательства в систему электроснабжения оборудования, является недостатком указанного устройства. Поэтому целесообразным будет являться техническое решение, дающее возможности контроля и регистрации рабочего и нерабочего времени работы электрооборудования за счет применения бесконтактных методов контроля переменного магнитного поля, создаваемого токоведущими жилами питающего кабеля.

В результате ранее проведенных исследований было установлено, что бесконтактный контроль наличия нагрузки в линии, питающей электрооборудование, может быть осуществлен несколькими способами. При наличии одножильного кабеля, питающего рассматриваемое электрооборудование, целесообразно применять токоизмерительные клещи. Во всех остальных случаях следует использовать индуктивные датчики с усилителем [3].

На рис. 1 представлена структурная схема предлагаемого устройства.

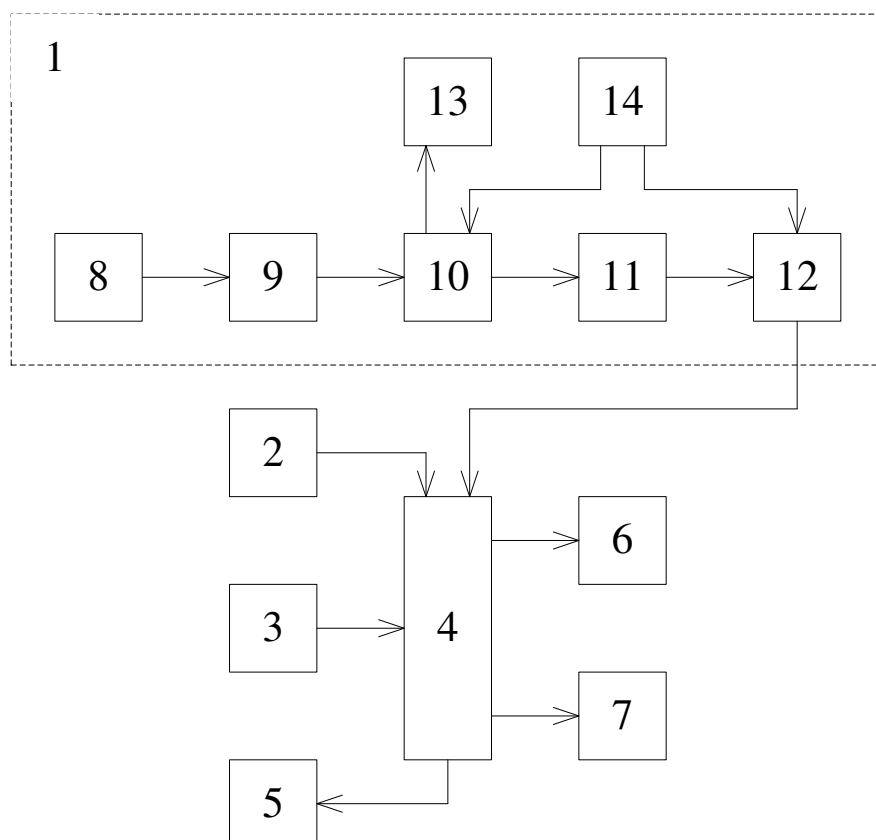


Рис. 1. Структурная схема устройства учета времени наработки электрооборудования

Устройство содержит блок измерений 1, часы реального времени 2 и блок управления 3, выходы которых соединены с микроконтроллером 4, в свою очередь соединенным с блоком индикации 5, запоминающим устройством 6 и блоком вывода информации 7. Блок измерений 1 включает в себя последовательно соединенные датчик переменного магнитного поля 8, блок усиления и фильтрации 9, компаратор 10, детектор переменного напряжения 11, блок сравнения 12, при этом компаратор и блок сравнения связаны с источником опорного напряжения 14, выход компаратора соединен со световым индикатором 13, а выход блока сравнения соединен с входом микроконтроллера. Датчик переменного магнитного поля 8 реализован на основе кольцевого магнитопровода из магнитомягкого ферромагнитного материала, имеющего разрыв с магнитоэлектрической вставкой, на который намотана сигнальная обмотка, выводы которой подключены к входу блока усиления и фильтрации 9.

Рассмотрим принцип работы предлагаемого устройства. Магнитопровод датчика располагается возле контролируемого кабеля таким образом, чтобы разрыв магнитопровода находился в непосредственной близости от одной из его токоведущих жил. Переменное магнитное поле кабеля через магнитодиэлектрическую вставку проникает внутрь магнитопровода датчика и создает на выводах его обмотки ЭДС, пропорциональную абсолютному значению протекающего тока, которая поступает на вход усилительного тракта. Наличие переменного магнитного поля определенной амплитуды свидетельствует о наличии тока в питающем кабеле и, следовательно, о включенном состоянии электрооборудования. Блок усиления и фильтрации 9 усиливает сигнал датчика и ограничивает его частотный диапазон посредством полосового фильтра (например, четвертого порядка), настроенного на частоту промышленной сети. Усиленный сигнал поступает на вход компаратора 10, где производится его сравнение с величиной напряжения, формируемого источником опорного напряжения 14, в результате чего на выходе компаратора формируется последовательность импульсов, скважность которых пропорциональна амплитуде анализируемого тока. Импульсы подаются на световой индикатор 13, яркость свечения которого пропорциональна величине скважности, что позволяет обеспечивать точную настройку расположения датчика относительно кабеля. Детектор переменного напряжения 11 преобразует импульсы с выхода компаратора 10 в постоянное напряжение, величина которого пропорциональна амплитуде анализируемого тока. Это напряжение поступает на вход блока сравнения 12, который, сравнивая его с величиной опорного напряжения источника 14, формирует двоичный цифровой сигнал наличия тока в кабеле, поступающий на вход микроконтроллера 4. Анализируя сигнал наличия тока в кабеле и используя информацию часов реального времени 2, микроконтроллер производит учет времени работы электрооборудования, результаты которого сохраняются в запоминающем устройстве 6, выводятся на экран блока индикации 5 и могут быть переданы за пределы устройства с помощью блока вывода информации 7. Блок управления 3 содержит набор кнопок и переключателей, предназначенных для управления микроконтроллером и коррекции показаний часов реального времени 2. Постоянная времени детектора 11 имеет значение 1-2 с, что позволяет надежно

фильтровать импульсные помехи от электрооборудования, расположенного в непосредственной близости от устройства.

Данное устройство применимо при отсутствии технической возможности рассечки жил кабеля с целью подключения датчиков тока и напряжения. Таким образом, оно позволит расширить возможности контроля и регистрации времени работы электрооборудования в цехах и производственных участках при обслуживании и ремонте подвижного состава. В свою очередь, точный учет времени наработки позволит установить периодичность технического обслуживания электрооборудования и осуществить разработку решений по продлению ресурса его работы и, в целом, приблизиться к созданию интеллектуальной системы управления энергетической эффективностью эксплуатации электрооборудования предприятий.

Список литературы

1. Энергосбережение на железнодорожном транспорте: учебник для вузов/ В. А. Гапанович, В. Д. Авилов и др.; под ред. В. А. Гапановича. М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. 620 с.
2. Пат. на изобретение 2534704 РФ. МПК G01R19/00. Способ контроля состояния и учета времени наработки электроэнергетического оборудования и устройство для его реализации / В. Г. Бартенев (РФ) – № 2013113662/28; Заявлено 27.03.2013; Опубл. 10.12.2014. Бюл. №34
3. Комяков, А. А. Применение лабораторной станции NI ELVIS II для проведения натурных испытаний датчиков контроля режимов работы электрооборудования / А. А. Комяков, В. В. Эрбес // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: Материалы второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2016. С. 190 – 195.

С. В. Заренков, А. Ж. Еркебаев

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В статье рассматриваются вопросы факторов, влияющие на снижение энергоемкости железнодорожного транспорта. При определении, которого учитывается потребление всех видов топлива и энергии по всем направлениям расхода, включая отопление, вентиляцию, водоснабжение, потери в сетях, независимо от источников энергоснабжения. Приведен анализ энергетических аудитов отраслевых предприятий железнодорожного транспорта, который позволил выявить наиболее значимые факторы. Показано что, применение нового критерия оценки энергоемкости транспорта электрической энергии (г.у.т./кВт·ч) вместо процентов потерь (%) позволяет наглядно и однозначно оценивать альтернативные варианты энергоснабжения.

Железнодорожный транспорт является одним из наиболее энергоемких потребителей, действующих на энергетическом рынке России, ежегодно потребляя 5-6 % вырабатываемой в стране электроэнергии. При этом доля затрат на приобретение электрической энергии в эксплуатационных расходах ОАО «Российские железные дороги» составляет более 8%.

Увеличение доли затрат на электрическую энергию в общей стоимости выпускаемой продукции за последние годы заставило железнодорожников пересмотреть свое отношение к вопросу рационального потребления электрической энергии.

В соответствии с «Энергетической стратегией холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года» одним из главных целевых ориентиров является снижение энергоемкости перевозочного процесса, оптимизация затрат в стационарной энергетике, расширение использования альтернативных и возобновляемых ресурсов [1].

Энергоемкость перевозочного процесса – показатель, характеризующий расход энергии на измеритель перевозочной работы. При определении энергоемкости учитывается потребление всех видов топлива и энергии по всем

направлениям расхода, включая отопление, вентиляцию, водоснабжение, потери в сетях, независимо от источников энергоснабжения. При расчете энергоемкости перевозочного процесса в стоимостном выражении топливо и энергия оцениваются по действующим ценам и тарифам. Снижение энергоемкости перевозочного процесса – важное направление интенсификации железнодорожного транспорта и ресурсосбережения – достигается осуществлением системы технических, технологических, организационных, экономических и воспитательных мер, направленных на всемерное совершенствование перевозочного процесса и потребления энергии.

Решающее значение для снижения энергоемкости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте имеет коренная реконструкция топливно-энергетического комплекса, широкое применение энергосберегающих технологий. В современных условиях роста стоимости и даже дефицита топливно-энергетических ресурсов особую актуальность приобретает оценка энергетической эффективности промышленных технологий. Расход энергии является универсальным показателем, определяющим, в конечном итоге, эффективность всего производства. В промышленно развитых странах Запада энергетический анализ перестал быть прерогативой только исследователей, превратившись в действенный механизм, способствующий становлению энергосберегающих технологий, стимулирующий более эффективное использование энергоресурсов.

Анализ энергетических аудитов отраслевых предприятий железнодорожного транспорта позволил выявить наиболее значимые факторы, к которым относятся: снижение объемов производства продукции и, как следствие, значительный недогруз электрических двигателей, трансформаторов, электрических сетей; большая реактивная нагрузка в отдельных участках внутризаводской и внутрицеховой сети и отсутствие современных индивидуальных компенсирующих устройств реактивной мощности; низкий КПД (0,76–0,85) насосного оборудования, компрессоров; низкоэффективная система освещения (отсутствие современных систем управления освещением, неиспользование динамических светильников, энергосберегающих ламп); большие магнитные потери в электрических двигателях из-за конструктивных недостатков, высших гармоник после проведения некачественного ремонта; неэффективное построение системы

сжатого воздуха, вентиляции; регулирование расхода воды и воздуха заслонками; частые полные и аварийные остановки технологического оборудования вследствие износа оборудования и отсутствия мониторинга по техническому диагностированию.

Своевременное определение причин электрических потерь на железнодорожном транспорте – это определяющая часть успеха в решении задач повышения энергетической эффективности. Уровень потерь в сетях железнодорожных узлов, то есть небаланс между электроэнергией, принятой в сети районов электроснабжения и распределенной отраслевым предприятиям железнодорожного транспорта и сторонним потребителям достигает 15 – 25 %.

Однако в процессе постановки задачи по повышению эффективности использования энергоресурсов необходимо рассматривать всю цепочку производства и потребления энергии, начиная от добычи первичных энергоносителей и их транспортировки к местам переработки в наиболее универсальный вид энергии – электроэнергию и кончая использованием ее у потребителей. Возможности для снижения расхода энергоресурсов имеются на всех этапах. По расчетам специалистов, в настоящее время лишь 40% содержащейся в энергоресурсах потенциальной энергии доходит до конечных потребителей и расходуется в качестве «полезной энергии» [2].

Существующая система анализа и нормирования энергоемкости работы активов железнодорожного транспорта, основанная на оценке процента потерь электроэнергии является недостаточно эффективной [3].

Работу и нормирование энергоемкости активов электросетевого комплекса железнодорожного транспорта необходимо оценивать и нормировать по физическим факторам, определяющим эффективность потерь в линиях электропередачи: а) длина линии; б) сечение линии; в) число часов использования рабочей мощности линии, и по двум внешним факторам: г) $\cos(\varphi)$ потребителя и е) $\cos(\varphi)$ собственной линии электропередачи и трансформаторов электросетевого комплекса.

Так, применение показателя потерь с учетом длины и сечения сетей позволяет более достоверно оценить энергоемкость транспорта электрической энергии в сетях.

В отличие от существующего в электросетевом комплексе метода анализа потерь по условным единицам, не отвечающего условиям рыночной экономики, предлагается применять на практике анализ и управления деятельностью электросетевого комплекса железнодорожного транспорта в условиях рыночной экономики так называемый метод «нормативной электрической линии» [4].

Поскольку главным элементом на стадии эксплуатации является токоведущая часть сети (провод, кабель, обмотки трансформатора) то именно по ней и следует определять количество активов в натуральной форме.

Установленная и рабочая мощность электрических линий измеряется в кВА, через механизм использования единичного нормируемого множителя, учитывающего экономическое распределение напряжения (кВ/км) и экономическую плотность тока (А/мм²). Физический объем линий электропередачи (установленная мощность, количество активов) определяется не по условным единицам, а произведением длины линий, L (км) на сечение проводов S (мм²). Умножив это произведение на единичный нормирующий множитель, характеризующий электрические показатели линии, получим формулу нормированной линии электропередачи [5].

За нормативную электрическую линию (НЭЛ) принимается один километр трехпроводной линии электропередачи с сечением одного алюминиевого провода 95 мм².

Электросетевому комплексу железнодорожного транспорта необходимо отказаться от нормирования энергоемкости только по одному косвенному показателю – «проценту потерь в сетях». Необходимо дополнить показатели и перейти на методы прямого анализа и нормирования энергоемкости (г.у.т/кВт·ч) на основе:

- нормирования энергоемкости нормативной электрической линией (НЭЛ) – пропорционально физической мощности линий электропередачи;
- по числу часов использования установленной мощности линии (именно линии, а не потребителей) при нормированном проценте потерь энергии в сети: 1-4 % от отпускаемой энергии из сети, в зависимости от класса напряжения;
- по нормированному значению реактивной мощности $tg(\varphi) = 0,0$ (не только $tg(\varphi) = 0,35 \div 0,5$ в зависимости от класса напряжения).

Применение нового критерия оценки энергоемкости транспорта электрической энергии (г.у.т./кВт·ч) вместо процентов потерь (%) позволяет наглядно и однозначно оценивать альтернативные варианты энергоснабжения.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия холдинга ОАО «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года. Москва 2016.
2. Богданов, А. Б. Высокая энергоемкость – бич российской энергетики / А. Б. Богданов // Тепловая энергетика. – №03 (12). – 2014. – С. 6-9.
3. Богданов, А. Б. ЧВЭ и ЧНЭР в электросетевом комплексе России. Часть 3. / А. Б. Богданов // Теплоэнергоэффективные технологии. – №3 (63). – 2011. – С. 17-30.
4. Шевкоплясов, П. М. Ценообразование на рынках энергии. Глобальные проблемы. Реальные решения: Учебное пособие. 2-е издание / П. М Шевкоплясов / СПб.: ПЭИПК, 2008. – 396 с.
5. Шевкоплясов, П. М. Определение количества активов и показателей надежности при регулировании деятельности электросетевых предприятий / П. М Шевкоплясов // Энергорынок. №1. – 2011. – С. 40-45.

АННОТАЦИИ

УДК 621.91

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР

Аверков Константин Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

Бунькова Тамара Геннадьевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Инженер кафедры «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

Макашин Дмитрий Сергеевич

Омский государственный технический университет (ОмГТУ).

644050, г. Омск, Пр. Мира, д. 11.

Кандидат технических наук ОмГТУ, ст. преподаватель кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», ОмГТУ.

В статье рассмотрен технологический процесс обточки колесных пар. Приведены данные статистики по дефектам. Предложен новый инструмент для выполнения обточки. Выполнен анализ напряжений, возникающих в твердосплавных пластинах при обточке.

Ключевые слова: колесная пара, обточка, твердость, резец, анализ, ползун, выщербина.

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF REPAIR OF WHEEL PAIRS

Averkov Konstantin Vasilievich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Candidate of technical Sciences, Associate Professor, Department "Technology of transport engineering and repair of rolling stock", OSTU.

Bunkova Tamara Gennadievna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Engineer of the Department "Technology of transport engineering and repair of rolling stock", OSTU.

Makushin Dmitry Sergeevich

Omsk State Technical University (OmSTU)

PR. Mira, d. 11, Omsk, 644050, Russia.

Candidate of technical Sciences, St lecturer of the Department "Metal-cutting machines and tools", OmSTU.

The article considers the technological process of turning of wheel pairs. It given the statistics on defects. It Proposed new tool for performing turning. The analysis of the stresses in cemented carbide during grinding.

Keywords: a pair of wheels, grinding, hardness, cutter, analysis, slide, chipped.

УДК 629.08

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА

Капустьян Михаил Федорович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

Тел.: 8(381-2) 31-18-11.

E-mail: ttm@omgups.ru.

Супчинский Олег Павлович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Преподаватель кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

Тел.: 8-908-105-24-16.

E-mail: sunchinyan@mail.ru.

Кулаковская Вера Паладиевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Магистрант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

Тел.: 8-962-047-99-11.

E-mail: VeraKulakovckaya@mail.ru.

Анализ данных о текущем техническом состоянии подвижного состава показал, что для обеспечения необходимого уровня технической готовности требуются новые подходы к совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта. В статье предлагается методика определения показателей текущего состояния узлов подвижного состава, риска ущерба, затратность технического обслуживания объекта и определения на их основе стратегии ремонта, обеспечивающей минимальные затраты на него.

Ключевые слова: подвижной состав, техническое состояние, интегральный показатель качества, риск.

EVALUATION OF THE TECHNICAL STATE OF MOBILE COMPOSITION ON THE BASIS OF INTEGRAL QUALITY INDEX

Kapustyan Mikhail Fedorovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk.644046, Russia.

Cand. Sci. Nech, the senior lecture of chair «Technology of transport mechanical engineering and repair of a rolling stock», OSTU.

Phone: 8(381-2) 31-18-11.

E-mail: ttm@omgups.ru.

Supchinsky Oleg Pavlovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk.644046, Russia.

Lecturer of chair «Technology of transport mechanical engineering and repair of a rolling stock», OSTU.

Phone: 8-908-105-24-16.

E-mail: sunchinyan@mail.ru.

Kulakovskaya Vera Paladieva

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk.644046, Russia.

Graduate student of chair «Technology of transport mechanical engineering and repair of a rolling stock», OSTU.

Phone: 8-962-047-99-11.

E-mail: VeraKulakovckaya@mail.ru.

Analysis of data on the current technical condition of the rolling stock has shown that new approaches to the improvement of the maintenance and repair system are required to ensure the required level of technical readiness. The article proposes a technique for determining the indicators of the current state of the rolling stock units, the risk of damage, the cost of maintenance of the facility and determining, on their basis, a repair strategy that ensures minimum costs.

Keywords: rolling stock, technical condition, integral quality index, risk.

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДСИСТЕМ ДИЗЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Михеев Владислав Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», ОмГУПС.

E-mail: Micheev_V_A@mail.ru.

Томилова Ольга Сергеевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», ОмГУПС.

E-mail: Motovilova@yandex.ru

В статье рассматривается подход к оперативной оценке технического состояния функциональных подсистем дизельной энергетической установки тепловоза в составе комплексных микропроцессорных систем управления. Представлен подход к оперативной оценки технического состояния топливной системы, разработан алгоритм позволяющий установить причины выхода контролируемых параметров за допустимые пределы.

Ключевые слова: энергетическая установка тепловоза; граф-модель; оперативная оценка технического состояния

OPERATIONAL EVALUATION OF TECHNICAL CONDITION OF THE DIESEL POWER PLANT SUBSYSTEMS

Mikheyev Vladislav Aleksandrovich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., assistant professor of the department «Cars and carriage economy», OSTU.

E-mail: Micheev_V_A@mail.ru

Tomilova Olga Sergeevna

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., assistant professor of the department «Cars and carriage economy», OSTU.

E-mail: Motovilova@yandex.ru.

The article discusses the approach to operational evaluation of technical condition of the diesel locomotive power plant functional subsystems as a part of an integrated microprocessor control systems. Presents an approach to operational evaluation of technical condition of a fuel system, the algorithm allowing to establish the reasons of controlled parameters output of admissible limits is developed.

Keywords: diesel locomotive power plant; graph model; operational evaluation of technical condition.

УДК 629.424.001.24

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАНЕВРОВЫХ ТЕПЛОВЗОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ БУСТЕРНОЙ СЕКЦИИ

Якушин Роман Юрьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

E-mail: Yakushinry@rambler.ru.

Тел. 8-923-671-43-47.

Балагин Дмитрий Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

E-mail: balagin@mail.ru.

Тел. 8-904-587-64-02.

В статье рассматривается возможность использование бустерной секции на тепловозах серии ТЭМ18ДМ при выполнении маневровых и вывозных работ на руководящих подъемах позволяющая увеличить массу состава и повысить эксплуатационную надежность тепловозов.

Ключевые слова: бустерная секция, сила тяги, тяговый электродвигатель, тяговый генератор, обмотки якоря и добавочных полюсов, тяговая система, масса состава, напряжение, ток, электромеханические характеристики.

INCREASE IN EFFICIENCY OF USE SHUNTING LOCOMOTIVES DUE TO APPLICATION BOOSTER SECTION

Yakushin Roman Yuryevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D. in Engineering, Assistant Professor, Associate Professor of the department «Locomotives», OSTU.

E-mail: Yakushinry@rambler.ru.

Tel. 8-923-671-43-47.

Balagin Dmitry Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D. in Engineering, Assistant Professor, Associate Professor of the department «Locomotives», OSTU.

E-mail: balagin@mail.ru.

Tel. 8-904-587-64-02.

In article the possibility use busterny sections on TEM18DM series locomotives is considered when performing shunting and export works on the leading rises allowing to increase the mass of structure and to increase operational reliability of locomotives.

Keywords: busterny section, tractive effort, traction electric motor, traction generator, windings of an anchor and additional poles, traction system, mass of structure, tension, current, electromechanical characteristics.

УДК 543.421/424

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА МЕТЕРИАЛА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Муравьев Дмитрий Валерьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

В статье описывается методика оценки качества материала литых деталей тележки с использованием оптико-эмиссионного спектрального анализа, которая включает этапы извлечения образцов, пробоподготовки, спектрометрии и обработки результатов исследования. Методика предлагает обоснованный выбор места вырезки образца, подробно описывает последовательность измерений и анализа результатов.

INVESTIGATION OF THE QUALITY OF THE METHOD OF METAL LITTLE PARTS OF A CARGO CARGO TROLLEY

Muravev Dmitriy Valerevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av. Omsk, 644046, Russia.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Technology of Transport Engineering and Repair of Rolling Stock».

The paper describes a technique for evaluating the quality of a material of cast parts of a trolley using optical emission spectroscopic analysis, which includes the steps of sample extraction, sample preparation, spectrometry, and processing of the results of the study. The technique offers a reasonable choice of the location of the sample cutting, describes in detail the sequence of measurements and analysis of the results.

УДК 629.488.25

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ ВАГОНОВ 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», ОмГУПС.

Контактный телефон: 8-903-982-04-90.

E-mail: smirnovva@bk.ru.

Панов Кирилл Вячеславович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», ОмГУПС.

Контактный телефон: 8-983-563-45-10.

E-mail: k.v.panov@yandex.ru.

Рассматриваются вопрос повышения уровня автоматизации контроля и управления технологическим комплексом дробеструйной очистки подвижного состава в процессе их ремонта. Предложено повысить автоматизацию технологического оборудования за счет системы технического зрения. Описан разработанный автоматизированный комплекс дробеструйной очистки вагонов подвижного состава.

Ключевые слова: Подвижной состав, ремонт, технологическая гибкость, очистка кузова, дробеструйная очистка, система технического зрения

AUTOMATED SHOT BLASTING OF WAGONS ROLLING STOCK

Smirnov Victor Alexandrovich

Omsk State Transport University (OSTU)

Work address: 35, Marx av., Omsk, 644046, Russia

Candidate of Technical Science, Associate Professor of the Chair of Rolling Stock Electric Railways, OSTU.

Phone: 8-903-982-04-90.

E-mail: smirnovva@bk.ru.

Panov Kirill Vyacheslavovich

Omsk State Transport University (OSTU)

Work address: 35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Postgraduate student of the Chair of Rolling Stock Electric Railways, OSTU.

Phone: 8-983-563-45-10.

E-mail: k.v.panov@yandex.ru.

Discusses the issue of increasing the level of automation of control and management of technological complex of blast cleaning of rolling stock in the process of repair. It is proposed to increase the automation equipment by a technical vision system. Described is an automated system shot blasting rolling stock

Keywords: rolling stock, repair, technological flexibility, purification of the body, height gages, vision system

УДК 621.9.015 : 625.032.32

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР С КОНТАКТНО-УСТАЛОСТНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ

Бисерикан Михаил Иванович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

Тел.: 8-904-321-95-01.

E-mail: RadenXG@mail.ru

Хабибулина Юлия Сергеевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студентка механического факультета, ОмГУПС.

Тел.: 8-983-352-55-78

E-mail: habibulina.iuliya@mail.ru

В статье рассмотрено влияние технологических наследственных неровностей, возникающих вследствие недостаточно эффективной технологии ремонта, на процесс

контактного взаимодействия и изнашивания в системе «колесо-рельс». Представлен технологический метод, позволяющий обеспечить необходимые показатели качества поверхности катания колеса.

Ключевые слова: колесо, дефект, ресурс, обточка, технологическая неровность.

IMPROVEMENT OF QUALITY OF REPAIR OF WHEEL PARTS WITH CONTACT-FATIGUE DAMAGE TO THE SKINS

Biserikan Michael I.

Omsk State Transport Univirsity (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of "Technology of Transport Engineering and repair of rolling stock", OSTU.

Phone: 8-904-321-95-01.

E-mail: RadenXG@mail.ru.

Khabibulina Julia S.

Omsk State Transport Univirsity (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Student of the mechanical department, OSTU.

Phone: 8-983-352-55-78.

E-mail: habibulina.iuliya@mail.ru.

In the article the influence of technological hereditary non-equalities arising due to insufficiently effective repair technology on the process of contact interaction and wear in the "wheel-rail" system is considered. The technological method allowing to provide necessary parameters of quality of a surface of rolling of a wheel is presented.

Keywords: wheel, defect, resource, turning, technological unevenness.

УДК 621.2+620(035)

ШИРОКОЗАХВАТНЫЙ НАКЛАДНОЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Ахмеджанов Равиль Абдрахманович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-42-19.

Чегодаев Федор Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, ОмГУПС.

Катин Михаил Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Предложен вариант широкозахватного вихретокового преобразователя в виде совокупности плоских накладных конструкций

THE BROADBAND EDDY CURRENT CONVERTER

Akhmedzhanov Ravil Abdrakhmanovich

Omsk State Transport Univirsity (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Candidate of Technical Sciences, Professor of the Chair "Cars and Carriage Economy", OSTU.

Tel.: (3812) 31-42-19.

Chegodaev Fyodor Vasilyevich

Omsk State Transport Univirsity (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, OSTU.

Katin Mikhail Vasilyevich

Omsk State Transport Univirsity (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

The broadband eddy current converter in the form of a set of flat overhead types.

УДК 629.488

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОПИТОЧНО-СУШИЛЬНОГО
ОТДЕЛЕНИЯ СЕРВИСНОГО ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО МОСКОВКА**

Литвинов Артем Валерьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

К.т.н., доцент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

E-mail: artyom_hawk@mail.ru

Абишов Ербол Гайдарович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.
Аспирант кафедры «Теоретическая электротехника», ОмГУПС.
E-mail: erbolpc@gmail.com.

Родина Дарья Евгеньевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.
Студентка группы 35п, кафедра «Локомотивы», ОмГУПС.
E-mail: dasha_rodina@inbox.ru.

В статье выдвигается ряд предложений по модернизации пропиточно-сушильного отделения сервисного локомотивного депо Московка.

Ключевые слова: тяговые электродвигатели, сушка изоляции обмоток, методы сушки изоляции, комбинированный метод сушки изоляции, модернизация, пропиточно-сушильное отделение.

**PROPOSALS FOR THE MODERNIZATION OF THE IMPREGNATION, DRYING
DEPARTMENT SERVICE LOCOMOTIVE DEPOT MOSKOVKA**

Litvinov Artyom Valerievich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.
PhD in Engineering sciences, associate Professor of the department «Locomotives», OSTU.
E-mail: artyom_hawk@mail.ru.
8 (3812) 31-34-17.

Abishov Erbol Gaidarovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.
Graduate student of the department «Theoretical electrical engineering», OSTU.
E-mail: erbolpc@gmail.com.

Rodina Darya Evgenievna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.
Student, group 35p, of the department «Locomotives», OSTU.
E-mail: dasha_rodina@inbox.ru.

The article puts forward a number of proposals for modernization of the impregnation, drying Department service locomotive depot Moskovka.

Keywords: traction motors, drying of winding insulation, methods of insulation drying, combined drying method of isolation, modernization, impregnating-drying department.

УДК 629.488

К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИИ ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ, РАБОТ И УСЛУГ В ЛОКОМОТИВНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Головаш Анатолий Нойович

Производственное конструкторско-технологическое предприятие «Транспорт».

ул. Баранова, 2а. г. Омск, 644023, Российская Федерация.

Кандидат технических наук, советник директора.

Тел.: +7-913-630-14-60.

E-mail: Golovashan1951@mail.ru.

Куршакова Наталья Борисовна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика транспорта, логистика и управление качеством», ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-06-48.

E-mail: nbk2004@mail.ru.

Представлены результаты анализа толкований терминов и их определений, связанных с качеством, даны предложения по упорядочению использования термина «качество» в системе производства продукции, работ, услуг.

Ключевые слова: качество, система качество, управление качеством, контроль качества, техническое обслуживание и ремонт, подвижной состав.

TO THE QUESTION ABOUT THE CONTENT OF TERMS AND DEFINITIONS RELATED TO QUALITY OF PRODUCTION, WORKS AND SERVICES IN LOCOMOTIVE SECTORE

Golovash Anatoliy Noyovich

Industrial Design and Technology Enterprise "Transport", Omsk.

2a, ul.Baranova, Omsk, 644023 the Russian Federation.

Candidate of Engineering Sciences, Advisor to the Director.

Phone: +7-913-630-14-60.

E-mail: Golovashan1951@mail.ru.

Kurshakova Natalia Borisovna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk.644046, Russia.

Doctor of Science in Economics, associate professor, professor of the department «Economics of Transport, Logistic and Quality Management», OSTU.

Phone: +7(3812) 31-06-48.

E-mail: nbk2004@mail.ru

The results of analysis of interpretations of terms and their definitions related to quality. The proposal to streamline the use of the term "quality" in the system of production, works, services.

Keywords: quality, quality system, quality management, quality control, maintenance and repair, rolling stock.

УДК 629.471

ТЕХНОЛОГИЯ «ИНДУСТРИЯ 4.0» В СЕРВИСНЫХ ЛОКОМОТИВНЫХ ДЕПО ГРУППЫ КОМПАНИЙ ЛОКОТЕХ

Дегтярёв Юрий Станиславович

ООО «ЛокоТех».

109074, г. Москва, Славянская площадь, 2/5/4, стр. 3

Генеральный директор ООО «ЛокоТех».

Пустовой Владимир Николаевич

ООО «ЛокоТех».

109074, г. Москва, Славянская площадь, 2/5/4, стр. 3

Заместитель генерального директора по технологиям ООО «ЛокоТех».

Лакин Игорь

ООО «ЛокоТех».

109074, г. Москва, Славянская площадь, 2/5/4, стр. 3

Начальник Департамента развития систем мониторинга технического состояния локомотивов ООО «ЛокоТех».

В статье описаны перспективные технологии автоматизации, объединяемые общим названием кибер-физические системы (Cyber-Physical Systems - CPS)». Описаны составляющие системы и этапы развития. Описано направление работ в группе компаний «ЛокоТех» по разработке и внедрению CPS ACU «Сетевой график».

TECHNOLOGY OF THE «INDUSTRY 4.0» IN THE SERVICE LOCOMOTIVE DEPOSITS OF THE GROUP OF COMPANIES LOKOTEH

Degtyarev Yuri Stanislavovich

LLC LokoTeh.

109074, Moscow, Slavyanskaya Square, 2/5/4, p. 3
General Director of LLC LokoTeh.

Pustovoj Vladimir Nikolaevich

LLC LokoTeh.

109074, Moscow, Slavyanskaya Square, 2/5/4, p. 3

Deputy General Director for Technology LLC "LokoTeh."

Lakin Igor

LLC LokoTeh.

109074, Moscow, Slavyanskaya Square, 2/5/4, p. 3

Head of the Department for the Development of Monitoring Systems for the Technical Condition of Locomotives of LLC LokoTeh.

The article describes advanced automation technologies, united by the common name of cyber-physical systems (Cyber-Physical Systems - CPS). "The components of the system and stages of development are described. The direction of work in the group of companies "LocoTech" for the development and implementation of CPS ACS "Network Schedule" is described.

УДК 629.471

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ
СЕРВИСНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТОМ
ЛОКОМОТИВОВ**

Черемисин Василий Титович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644041, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, директор НИИ энергосбережения на железнодорожном транспорте, заведующий кафедрой «Подвижной состав электрических железных дорог».

E-mail: cheremisinv@gmail.com.

Пустовой Илья Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», ОмГУПС.

В статье описаны направления работ в сервисной компании ООО «ЛокоТех» по созданию и внедрению системы управления производственными процессами сервисных локомотивных депо (СЛД). Описаны составляющие системы, а также применение математических методов (статистического управления, методов международных

стандартов качества) и их инкапсуляция в систему, что позволяет реализовать современные подходы управления на базе существующих СЛД.

DEVELOPMENT OF INFORMATION-DYNAMIC MODEL OF MANAGEMENT OF SERVICE AND MAINTENANCE OF LOCOMOTIVES

Cheremisin Vasily Titovich

Omsk State Transport University (OSTU).

644041, Omsk, Marx Ave., 35.

Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Director of the Research Institute of Energy Saving in Railway Transport, head of the Department "Rolling Stock of Electric Railways".

E-mail: cheremisinvt@gmail.com.

Pustovoy Ilya Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).

644041, Omsk, Marx Ave., 35.

Post-graduate student of the department "Rolling stock of electric railways", OSTU.

The article describes the directions of work in the service company LLC LokoTech on the creation and implementation of a production management system for production locomotive depot (SLD). The components of the system are described, as well as the application of mathematical methods (statistical management, methods of international quality standards) and their encapsulation in the system, which makes it possible to implement modern management approaches based on existing SLAs.

УДК 629.488

БЕСКОНТАКТНОЕ РАЗРЫХЛЕНИЕ УГОЛЬНО-ЛЕДЯНОГО МОНОЛИТА ПРИ ЭКИПИРОВКЕ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Клюканов Алексей Васильевич

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС).

443090, г. Самара, ул. Советской Армии 127, кв. 61.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны», СамГУПС.

E-mail: kav.samara@mail.ru.

В работе рассмотрены проблемы, которые могут возникнуть в результате смерзания угля при экипировке пассажирских вагонов. Проведен анализ применяемых методов для разрыхления смерзшихся сыпучих грузов, на основании которого все способы рыхления были классифицированы на контактные и бесконтактные. Бесконтактное разрыхление угля на площадке может, осуществляется перед загрузкой в экипировочную машину и в термобункере при подготовке вагонов в рейс. Предложена конструкция термобункера для разрыхления смерзшегося угля.

Ключевые слова: смерзаемость угля, угольно-ледяной монолит, сыпучесть, разрыхление, тепловой подогрев угля, электроколонка, термобункер.

CONTACTLESS LOOSENING OF COAL-ICE MONOLITH WHILE EQUIPPING PASSENGER RAILWAY CARS

Klyukanov Alexey Vasilyevich

Samara State Transport University (SSTU).

443090, Russia, Samara, Soviet Army str., 127, apartment 61.

Ph.D. (Tech), associate professor of the faculty "Railway Cars", SSRU

E-mail: kav.samara@mail.ru.

The issue discusses the problems that can arise as a result of coal freezing while equipping passenger railway cars. The analysis of the methods used for loosening frozen granular goods was conducted, based on which all methods of cultivation have been classified into contact and contactless. Contactless coal loosening at the site may be carried out before loading into the outfit machine in a thermorunner during the preparation of the railway cars trip. The design of thermorunner for loosening frozen coal is proposed.

Keywords: coal freezing ability, coal-ice monolith, flowability, loosening, coal thermal heating, electro column, thermorunner.

УДК 629

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ДИЗЕЛЕЙ 16ЧН26/26, УСТАНОВЛЕННЫХ НА ТЕПЛОВОЗАХ 2ТЭ116УМ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В МОНГОЛИИ

С. Галбадрах

Монголо-Российское АО "УБЖД" Институт Транспорта.

Монголия, г.Уланбатор, р-он Баянгол, проспект Мира-44.

Преподаватель Института Транспорта Монголии.

Данный доклад предназначен для демонстрации результатов исследования, анализа надежности и эксплуатационного состояния тепловозных дизелей 16ЧН26/26, установленных на тепловозах 2ТЭ116УМ, эксплуатируемых Монголо-Российским Акционерным Обществом "Улан-Баторская железная дорога", начиная с 2011 года. Ремонт и обслуживание тепловозов в течении 2011-2015 гг. осуществлялись силами Российской компании Транс.Маши.Холдинг-Сервис (ТМХС). В исследовании использовалось 62 дизелей данного типа, работающих на тепловозах 2ТЭ-116УМ 001, 002.....031.

Ключевые слова: РАМ анализ, тепловозные дизели 16ЧН26/26, эксплуатационные условия в Монголии.

ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF DIESELS 16CHN26 / 26, INSTALLED ON THE 2TE116UM HEATERS, OPERATED IN MONGOLIA

S. Galbadrakh

Mongol-Russian JSC "UBZH" Institute of Transport.

Mongolia, Ulaanbaatar, Bayangol district, Mira-44 avenue.

The teacher of the Institute of Transport of Mongolia.

This report is intended for demonstration of the study results, analysis of the reliability and the operational conditions of diesel locomotives 16ChN26 /26 installed on diesel locomotives 2TE116UM, exploited by "UB Railway" Mongolian-Russian Joint Stock Company since 2011. The 62 diesel engines of this type operated on diesel locomotives 2TE116UM were used in the studies.

The purpose of this study is to study the processes of changes in the performance of diesel engines 16ChN26 / 26 diesel of locomotive 2TE116UM on the basis of reliability theories and mathematical-statistical method and to determine the other indicators (Reliability, Availability and Maintainability) that can be used as criteria for assessing their reliability.

Keywords: diesel engines of diesel locomotives 16ChN26 /26, RAM analysis, operational conditions in Mongolia

УДК 629.423.1

ПРОБЛЕМЫ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ СЕРИИ 2ЭС6 И МЕРОПРИЯТИЯ НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИХ РЕМОНТА

Доманов Кирилл Иванович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», ОмГУПС

Тел.: +7 (923) 671-45-33.

E-mail: domanov35@gmail.com.

Анализ результатов эксплуатации магистральных электровозов постоянного тока серии 2ЭС6 на всей сети ОАО «РЖД», рассматриваются показатели готовности и ремонтпригодности при производстве работ по выполнению плановых и неплановых видов обслуживаний локомотивов, выявлены основные причины длительного простоя локомотивов на сервисном обслуживании, сформирован комплекс мероприятий направленных на минимизацию отказов электровозов в эксплуатации.

Ключевые слова: узлы электрического оборудования, электровоз, энергоэффективность, анализ данных, локомотивный комплекс, качественные показатели.

PROBLEMS OF SERVICE FOR ELECTRIC EMISSIONS OF SERIES 2ES6 AND ACTIVITIES DIRECTED TO IMPROVE TECHNOLOGY OF THEIR REPAIR

Domanov Kirill Ivanovic

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Graduate student of department "Rolling electric iron roads", OSTU.

Phone: +7 (923) 671-45-33.

E-mail: domanov35@gmail.com.

Analysis of the results of operation of the main electric locomotives of the direct current series 2ES6 on the whole network of JSCo «Russian Railways», the readiness and maintainability indicators for the performance of planned and unplanned types of locomotive services are examined, the main reasons for the long idle time of locomotives in service maintenance are identified, a set of measures aimed at minimization failure of electric locomotives in operation.

Keywords: components of electrical equipment, electric, energy, data analysis, locomotive complex, qualitative indicators.

УДК 629.4.016

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОБОБЩЕННЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аликин Илья Геннадьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-17.

Синев Илья Сергеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-17.

Чубаров Иван Андреевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-17.

Чулков Алексей Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-34-17.

В статье предложена методика оценки относительных показателей для сравнительного анализа работы различных серий локомотивов на разных железных дорогах.

Ключевые слова: Тепловоз, дизель, расход топлива, маневровая работа, режимы эксплуатации, коэффициент технической скорости, коэффициент участковой скорости.

APPLICATION OF THE TECHNIQUE OF GENERALIZED TECHNO-ECONOMIC INDICATORS OF WORK OF THERMAL LINES IN OPERATION

Alikin Ilya Gennadievich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Student of the department «Locomotives», OSTU.

Phone: (3812) 31-34-17.

Sinev Ilya Sergeevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Student of the department «Locomotives», OSTU.

Phone: (3812) 31-16-72.

Chubarov Ivan Andreevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Student of the department «Locomotives», OSTU.

Phone: (3812) 31-16-72.

Chulkov Alexsey Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph.D. in Technical Sciences, the senior lecturer of the department «Locomotives», OSTU.

Phone: (3812) 31-34-17.

The article proposes a methodology for estimating relative indicators for a comparative analysis of the work of different series of locomotives on different railways.

Keywords: diesel, diesel, fuel, shunting operations, modes of operation, capacity factor, technical speed coefficient, sector speed coefficient.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА РАСХОД И ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ НА УЧАСТКАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ПРОФИЛЯ ПУТИ

Саркенов Советхан Сатжанович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», ОмГУПС.

Тел.: 89236848451.

E-mail: sovet201@mail.ru.

В статье рассматривается подход к оценке влияния на расход электроэнергии на тягу поездов параметров графика движения. Поиск варианта с минимальным потреблением энергии основан на моделировании графика движения при различных межпоездных интервалах в условиях организации пакетного обращения поездов на участке железной дороги и применения рекуперативного торможения. По результатам моделирования предлагается представить полученную зависимость изменения расхода электроэнергии от параметров графика движения поездов в виде аналитической функции нескольких переменных для последующего применения при построении нормативных графиков движения с целью сокращения расхода электроэнергии на тягу поездов.

Ключевые слова: электроподвижной состав, энергетическая эффективность, график движения поездов.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF THE TRAINIC MOVEMENT CHARGE FOR CONSUMPTION AND LOSS OF ELECTRICITY ON THE TRACK OF TRAINS ON SITES WITH VARIOUS TYPES OF THE PROFILE OF THE WAY

Sarkenov Sovethan Satzhanovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

The post-graduate student of chair «Rolling stock of the electric railroads», OSTU.

tel.: 89236848451.

E-mail: sovet201@mail.ru.

The article considers the approach to the estimation of the effect on the power consumption for traction of trains on the parameters of the traffic schedule. The search for a variant with a minimum energy consumption is based on the simulation of the traffic schedule for different inter-train intervals in the conditions of arranging the batch handling of trains on the railway section and the application of regenerative braking. Based on the results of the simulation, it is proposed to present the obtained dependence of the change in electric power consumption on the parameters of the train traffic schedule in the form of an analytical function of several variables for subsequent

application in the construction of normative traffic patterns in order to reduce the consumption of electric power for the traction of trains.

Keywords: electrification stock, power efficiency, train schedule.

УДК 629.46

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ВАГОННОГО ДЕПО И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Зубенко Вячеслав Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, ОмГУПС.

E-mail: zubenko.krv@mail.ru.

Телефон/факс: 8-913-973-36-52.

Скворцов Максим Олегович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент, ОмГУПС.

E-mail: max.skvor@yandex.ru

Телефон/факс: 8-999-454-58-67

Эксплуатационное вагонное депо является важным звеном в обеспечении безопасности движения поездов и сохранности грузов, поэтому необходимо уделять должное внимание качественной работе при подготовке вагонов к перевозкам.

Ключевые слова: эксплуатационное вагонные депо, методы решения, парк грузовых вагонов, перспективы развития, объем перевозок, инвестиции, инновационные вагоны.

PROBLEMS OF OPERATIONAL WAGON DEPOT AND THE WAYS OF THEIR DECISIONS

Zubenko Vyacheslav Vasilyevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, OSTU

Skvortsov Maxim Olegovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Student, OSTU

The operating carload depot is an important link in ensuring the safety of train traffic and the safety of goods, therefore it is necessary to pay due attention to quality work in the preparation of wagons for transportation.

Keywords: operational carload depots, methods of solution, fleet of freight cars, development prospects, traffic volume, investments, innovative cars.

УДК 629.4.027.4

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ БАНДАЖНЫХ КОЛЕС ЛОКОМОТИВОВ

Рауба Александр Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-18-11.

Дюндин Вадим Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», ОмГУПС.

Тел.: +79236729165.

E-mail: DyundinVV@mail.ru.

В статье приведены сведения, подтверждающие необходимость разработки новых технических решений, направленных на обеспечение надежности бандажных колес в эксплуатации. Сгруппированные конструкторско-технологические и эксплуатационные факторы, влияющие на ослабления посадки бандажа на колесном центре, позволяют сфокусировать внимание исследователей и задать необходимое направление для проведения новых исследований, с целью повышения надежности рассматриваемого соединения.

Ключевые слова: колесная пара, бандаж, колесный центр, проворот, посадка с натягом.

RATIONALE FOR INCREASING RELIABILITY LOCOMOTIVE BANDAGE WHEELS

Rauba Alexander Alexandrovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Doctor of Technical Science, Professor of the department «Technology of transport mechanical engineering and repair of a rolling stock», OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-18-11.

Dyundin Vadim Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Graduate student of the department «Technology of transport mechanical engineering and repair of a rolling stock », OSTU.

Phone: +79236729165

E-mail: DyundinVV@mail.ru

The article contains information confirming the need to develop new technical solutions aimed at ensuring the reliability of the shroud wheels in operation. The grouped design, technological and operational factors that influence the easing of the tire bandage at the wheel center allow us to focus the attention of researchers and set the necessary direction for carrying out new research to improve the reliability of the compound in question.

Keywords: wheelset, bandage, wheel center, cranking, interference fit.

УДК 621.753

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ
КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВАГОННОЙ ТЕЛЕЖКИ И КОЛЕСНЫХ ПАР
ДВИЖУЩЕГОСЯ СОСТАВА**

Петров Владимир Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и системы управления», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-05-89.

E-mail: PetrovVV@omgups.ru.

Петров Константин Сергеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент 3-го курса Механического факультета, гр.15а, ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-45.

E-mail: MechanicalFaculty@OmGUPS.ru.

Ступаков Сергей Анатольевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информатика, прикладная математика и механика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-66.

E-mail: StupakovSA@omgups.ru.

В работе рассмотрен подход к эффективному решению задачи внедрения инновационных технологий для диагностирования технического состояния вагонных тележек движущегося состава путем совершенствования инструментальной техники, технологической оснастки и информационных технологий на объектах железнодорожного транспорта. Дан анализ предложенной интегральной оценки отклонения кинематических параметров вагонной тележки от нормативных значений и описана микропроцессорная система для измерения временных параметров сигналов, поступающих от датчиков осей. Сделаны выводы о достоинствах описанной системы и предложены пути ее дальнейшего совершенствования для повышения безопасности движения на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: идентификация, диагностика, магнитная педаль, точность, подвижной состав, микропроцессорный контроллер, компьютерная обработка данных.

CUMULATIVE SCORE TO DIAGNOSE ABNORMALITIES OF DESIGN PARAMETERS OF BOGIE AND WHEELSETS MOVING COMPOSITION

Petrov Vladimir Vladimirovich

Omsk State Transport Univirsity (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Ph.D. in Technical Sciences, the senior lecturer of the department «Automatic and control systems», OSTU.

Phone: (3812) 31-05-89.

E-mail: PetrovVV@omgups.ru

Petrov Konstantin Sergeevich

Omsk State Transport Univirsity (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

3-year student of the Faculty of mechanical, Gr. 15a, OSTU.

Phone: (3812)) 31-06-45.

E-mail: MechanicalFaculty@OmGUPS.ru

Stupakov Sergey Anatolievich

Omsk State Transport Univirsity (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Ph.D. in Technical Sciences, the senior lecturer of the department «Informatics, applied mathematics and mechanics», OSTU.

Phone: (3812) 31-18-66.

In the work of the considered approach to deal effectively with the challenges of introducing innovative technologies for the diagnosis of technical condition of wagon bogies moving composition by improving tool machinery, technological equipment and information technology on railway transport objects. The analysis of the proposed integrated evaluation of kinematic

parameters of deviation of the bogie normative values and describes the microprocessor system for measurement of time parameters of signals from sensors on the axes. Conclusions about the merits of described system and the ways of its further improvement to enhance traffic safety in railway transport.

Keywords: identification, diagnosis, magnetic pedal, accuracy, rolling stock, microprocessor controller, computer data processing.

УДК 311.16

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТОДАМИ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

Васеева Татьяна Валерьевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Автоматика и системы управления», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-05-89, +7-923-763-67-10.

E-mail: VaseevaTV@omgups.ru, tvvaseeva@gmail.com.

Александров Александр Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Автоматика и системы управления», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-05-89, +7-909-537-57-99.

E-mail: aleksandrovav@omgups.ru.

В статье рассматривается обзор реализации алгоритмов вычисления корреляции. Сделаны выводы о достоинствах применения существующих методов корреляционного анализа. Разложение на короткие корреляции является наилучшим способом и обладает высокой вычислительной эффективностью по сравнению с другими методами.

Ключевые слова: корреляционный анализ, коэффициент корреляции, корреляция.

IMPLEMENTATION OF CORRELATION CALCULATION ALGORITHMS FOR DIAGNOSTICS OF MOBILE COMPOSITION BY METHODS OF CORRELATION ANALYSIS

Vaseeva Tatiana Valerevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Graduate student of the department «Automatic and control systems», OSTU.

Phone: (3812) 31-05-89, +7-923-763-67-10.
E-mail: VaseevaTV@omgups.ru, tvvaseeva@gmail.com.

Aleksandrov Alexander Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Graduate student of the department «Automatic and control systems», OSTU.

Phone: (3812) 31-05-89, +7-909-537-57-99.

E-mail: aleksandrovav@omgups.ru.

In the article, we will consider the results of algorithms for calculating the correlation. Execute the conclusion about the merits of using methods of correlation analysis. The decomposition into short correlations is the best method and has a high computational efficiency in comparison with other methods.

Keywords: correlation analysis, correlation coefficient, correlation.

УДК 629.4

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕЛЕЖКИ

Челтыгмашев Евгений Павлович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант, ОмГУПС.

Выполнен сравнительный анализ влияния динамических свойств типовых вагонов с тележкой 18-100 и вагонов с тележкой, имеющей рессорное подвешивание, оснащенное компенсирующим устройством на безопасность движения вагонов в порожнем режиме движения. Установлены значительно лучшие динамические качества данного экипажа по сравнению с вагоном с типовой тележкой.

Ключевые слова: безопасность движения поезда, принцип компенсации внешних возмущений и новое рессорное подвешивание тележки грузового вагона математическая модель, вертикальные ускорения кузова вагона

IMPROVEMENT OF THE SAFETY LEVEL OF MOBILE EMPTY WAGONS BASED ON IMPROVEMENT OF THE TROLLEY

Cheltygmashev Evgeniy Pavlovich

Omsk State Transport University (OSTU).

644046, Omsk, Marx Ave., 35.

Postgraduate student, OSTU.

Made a comparative analysis of the dynamic response of model cars with carriage and wagon 18-100 trolley with spring suspension, fitted with a compensating device. Fitted much better dynamic quality this crew compared to the wagon with model truck.

Keywords: The safety of freight vehicle, the principle of compensation of external disturbance . mathematical model of vertical acceleration of body empty wagon

УДК 629.4

МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ТИПОВЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ ВАГОНОВ

Лукс Дмитрий Юрьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант, ОмГУПС.

Выполнен сравнительный анализ динамической нагруженности типовых вагонов с тележкой 18-100 и инновационных вагонов с тележкой Барбера при движении по неровностям пути. Установлено, что в порожнем режиме движения по сравнению с типовым вагоном вагон с тележкой Барбера имеет значительно лучшие динамические качества.

Ключевые слова: грузовой вагон, силовая характеристика рессорного комплекта тележки, математическая модель, коэффициенты динамики

MONITORING OF DYNAMIC LOADING OF TYPICAL AND INNOVATIVE WAGONS

Luks Dmitry Yurievich

Omsk State Transport University (OSTU).

644046, Omsk, Marx Ave., 35.

Postgraduate student, OSTU.

Made a comparative analysis of the dynamic response of freight cars with bogie 18-100 and innovative freight car with Barber's bogie on roughnesses of a railway. Found that in light of the movement mode versus standard freight vehicle , freight vehicle with Barber's bogie has significantly better dynamic quality.

Keywords: freight vehicle, power characteristics of spring, mathematical model, the coefficients of the dynamics

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ UzTE16M3 НА УЧАСТКЕ МАРОКАНД – КАТТАКУРГАН В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аблялимов Олег Сергеевич

Акционерное Общество «Ўзбекистон темир йўллари» - Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ).

100167, Республика Узбекистан, г. Ташкент, Миробадский район, ул. Адылходжаева, 1.

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство», ТашИИТ.

Ергашев Зухритдин Зайдинович

Акционерное Общество «Ўзбекистон темир йўллари» - Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ).

100167, Республика Узбекистан, г. Ташкент, Миробадский район, ул. Адылходжаева, 1.

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Строительная механика», ТашИИТ.

Хисматулин Марат Ильдусович

Акционерное Общество «Ўзбекистон темир йўллари» - Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ).

100167, Республика Узбекистан, г. Ташкент, Миробадский район, ул. Адылходжаева, 1.

Магистр, ассистент кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство», ТашИИТ.

Представлены результаты исследований по оценке топливно - энергетической эффективности использования тепловозов UzTE16M3 на участке Мароканд – Каттакурган узбекской железной дороги при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Ключевые слова: исследование, результат, грузовой поезд, движение, тепловоз, железнодорожный путь, участок, эксплуатация, условие, направление, этап, скорость, расчёт, подвижной состав, разъезд, анализ, оценка, станция, представить, пункт, разделять.

THE EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF UZTE16M3 DIESEL LOCOMOTIVES USING ON THE MAROKAND – KATTAKURGAN DISTRICT IN EXPLOITATION

Ablyalimov Oleg Sergeyevich

Joint-stock Company «Uzbek railways» - Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET).

100167, Republik of Uzbekistan, Tashkent, Mirobad region, Adilkhodjaev str., 1.

Candidate technical degree (Doctor of philosophy), chief scientific worker, assistant professor of the chair «Lokomotives and locomotive economy», TashIET.

Ergashev Zukhritdin Zaydinovich

Joint-stock Company «Uzbek railways» - Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET).

100167, Republik of Uzbekistan, Tashkent, Mirobad region, Adilkhodjaev str., 1.

Candidate technical degree (Doctor of philosophy), chief scientific worker, assistant professor of the chair « Building mechanics», TashIET.

Khismatulin Marat Ildusovich

Joint-stock Company «Uzbek railways» - Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET).

100167, Republik of Uzbekistan, Tashkent, Mirobad region, Adilkhodjaev str., 1.

Master of science, assistant of the chair «Lokomotives and locomotive economy», TashIET.

Introduced the results of the investigation of the fuel - energyly on evaluation of efficiency of the UzTE16M3 diesel locomotives on the Marokand - Kattakurgan district of uzbek railway by of the movement freight trains without stopping and with stopping on through stations, passing-tracks and division points.

Keywords: investigation, result, the freight train, movement, the diesel locomotive, railway track, the district, exploitation, condition, direction, the stage, the speed, calculation, rolling – stock, passing-track, analyses, evaluation, the station, present, introduce, point, divide.

УДК 629.42:629.4.054, 625.28

**О ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ЗВЛ80^С НА УЧАСТКЕ МАРОКАНД –
КАТТАКУРГАН АО «ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ»**

Аблялимов Олег Сергеевич

Акционерное Общество «Ўзбекистон темир йўллари» - Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ).

100167, Республика Узбекистан, г. Ташкент, Мировадский район, ул. Адылходжаева, 1.

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство», ТашИИТ.

Ергашев Зухритдин Зайдинович

Акционерное Общество «Ўзбекистон темир йўллари» - Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ).

100167, Республика Узбекистан, г. Ташкент, Мировадский район, ул. Адылходжаева, 1.

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Строительная механика», ТашИИТ.

Хисматулин Марат Ильдусович

Акционерное Общество «Ўзбекистон темир йўллари» - Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ).

100167, Республика Узбекистан, г. Ташкент, Миробадский район, ул. Адылходжаева, 1.

Магистр, ассистент кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство», ТашИИТ.

Представлены результаты исследований по оценке энергетической эффективности использования электровозов 3ВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган узбекской железной дороги при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах в виде табличных данных и графических зависимостей.

Ключевые слова: исследование, результат, виртуальный, грузовой поезд, движение, электровоз, железнодорожный путь, участок, эксплуатация, условие, направление, этап, скорость, расчёт, подвижной состав, разъезд, анализ, оценка, станция, представить, холмисто-горный, пункт, разделять.

**ABOUT THE TRANSPORTATION WORKING OF 3VL80^S ELECTRIC
LOCOMOTIVES ON THE MAROKAND – KATTAKURGAN DISTRICT
OF «UZBEKISTAN RAILWAYS» JSC**

Ablyalimov Oleg Sergeyevich

Joint-stock Company «Uzbek railways» - Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET).

100167, Republik of Uzbekistan, Tashkent, Mirobad region, Adilkhodjaev str., 1.

Candidate technical degree (Doctor of philosophy), chief scientific worker, assistant professor of the chair «Lokomotives and locomotive economy», TashIET.

Ergashev Zukhritdin Zaydinovich

Joint-stock Company «Uzbek railways» - Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET).

100167, Republik of Uzbekistan, Tashkent, Mirobad region, Adilkhodjaev str., 1.

Candidate technical degree (Doctor of philosophy), chief scientific worker, assistant professor of the chair « Building mechanics», TashIET.

Khismatulin Marat Ildusovich

Joint-stock Company «Uzbek railways» - Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET).

100167, Republik of Uzbekistan, Tashkent, Mirobad region, Adilkhodjaev str., 1.

Master of science, assistant of the chair «Lokomotives and locomotive economy», TashIET.

Introduced the results of the investigation of the energyly on evaluation of efficiency of the 3VL80^S electric locomotives on the Marokand - Kattakurgan district of uzbek railway by of the

movement freight trains without stopping and with stopping on through stations, passing-tracks and division points in the form of tabular dates and graphic arts dependences.

Keywords: investigation, result, virtual, the freight train, movement, the electric locomotive, railway track, the district, exploitation, condition, direction, the stage, the speed, calculation, rolling – stock, passing-track, analyses, evaluation, the station, present, introduce, hilly-mountainous, point, divide.

УДК 629.45

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ЛОКОМОТИВА ПРИ АВАРИЙНОМ СОУДАРЕНИИ С ПРЕПЯТСТВИЕМ

Шорохов Сергей Геннадьевич

Брянский государственный технический университет (БГТУ).

241035, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, 7.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», БГТУ.

Антипин Дмитрий Яковлевич

Брянский государственный технический университет (БГТУ).

241035, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, 7.

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подвижной состав железных дорог», БГТУ.

Проведена оценка динамической нагрузки кузова отечественного пассажирского локомотива при аварийном соударении с препятствием. На основе разработанных твердотельных компьютерных моделей соударения выполнено имитационное моделирование аварийных ситуаций и получены графики распределения максимальных сжимающих усилий, действующих в конструкциях подвижного состава при соударениях.

Ключевые слова: динамическая нагрузка, локомотив, поезд, аварийное соударение, препятствие.

THE ESTIMATION OF DYNAMIC LOADING OF PASSENGER LOCOMOTIVE DURING EMERGENCY COLLISION WITH OBSTACLE

Shorokhov Sergey Gennad'evich

Bryansk State Technical University.

7, Bulvar 50 let Oktyabrya, Bryansk, 241035, Russian Federation.

Candidate of Engineering Sciences, associate professor of Department of «The Rolling Stock of Railways».

Antipin Dmitry Yakovlevich

Bryansk State Technical University.

7, Bulvar 50 let Oktyabrya, Bryansk, 241035, Russian Federation.

Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of Department of «The Rolling Stock of Railways».

The evaluation of dynamic loads of the body of domestic passenger locomotive in case of emergency collision with an obstacle. Based on the developed solid-state computer models of impact of performed simulations of emergency situations and the resulting distributions of maximum compressive forces acting in the construction of rolling stock by the collisions.

Key words: dynamic loading, locomotive, train, emergency collision, an obstacle.

УДК 629.4.015

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ ОАО «РЖД»

Булавко Олеся Анатольевна

Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения (КрИЖТ ИрГУПС).

660028, г. Красноярск, ул. Ладос Кецохели, 89.

Аспирант, КрИЖТ ИрГУПС.

Тел.: +7(3912) 437306.

E-mail: bulavko_oa@krsk.irkups.ru

Рассматриваются вопросы и перспективы развития тяжеловесного движения на железных дорогах Российской Федерации, повышение скоростей движения грузовых поездов.

Ключевые слова: масса поезда, тяжеловесное движение, скорость движения грузовых поездов.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF HEAVY MOVEMENT ON RAILWAYS OF JSC «RZD»

Olesya A. Bulavko

Krasnoyarsk Institute of Railway Transport – branch of the Irkutsk State Transport University (KRIZHT ISTU).

660028, Krasnoyarsk, ul. Lado Ketskhoveli, 89.

Postgraduate student, KRIZHT ISTU.

Tel.: +7 (3912) 437306.

E-mail: bulavko_oa@krsk.irkups.ru

The issues and prospects for the development of heavy traffic on the railways of the Russian Federation, the increase in the speed of freight trains are discussed.

Keywords: weight of the train, heavy traffic, speed of freight trains.

УДК 629.4.027.32

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БУКСОВОЙ СТУПЕНИ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ НОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Нехаев Виктор Алексеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теоретическая механика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-16-88.

E-mail: nehaevVA@omgups.ru.

Николаев Виктор Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая механика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-16-88.

E-mail: nikolaevVA@omgups.ru.

Самохвалов Евгений Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теоретическая механика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-16-88.

E-mail: samohvalovEA@omgups.ru.

Минжасаров Марат Хайргельдаевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Инженер кафедры «Теоретическая механика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-16-88.

E-mail: mmx90@yandex.ru.

В докладе приведены результаты исследования влияния релаксации буксовых гидродемпферов современных локомотивов на показатели их динамических качеств.

Проведен сравнительный анализ динамических свойств демпфера с релаксацией и без нее на примере простейших виброзащитных систем. На основе математического моделирования проведен сравнительный анализ показателей динамических качеств современных локомотивов с релаксацией буксовых гидродемпферов и без нее.

Ключевые слова: одноосная модель локомотива, рессорное подвешивание, виброускорения, динамические свойства локомотива.

ANALYSIS OF THE DYNAMIC PROPERTIES AXLEBOX STEPS FOR SUSPENSION OF NEW LOCOMOTIVES

Nehaev Viktor Alekseevich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr.Sci. Tech., Professor, professor of the department «Theoretical mechanics», OSTU.

Phone: (3812) 31-16-88.

E-mail: nehaevVA@omgups.ru.

Nikolaev Viktor Aleksandrovich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr.Sci. Tech., Professor, leader of the department «Theoretical mechanics», OSTU.

Phone: (3812) 31-16-88.

E-mail: nikolaevVA@omgups.ru.

Samohvalov Evgeny Alexandrovich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., Docent, senior lector of the department «Theoretical mechanics», OSTU.

Phone: (3812) 31-16-88.

E-mail: samohvalovEA@omgups.ru.

Minzhasarov Marat Khairgeldaevich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Engineer of the department «Theoretical mechanics», OSTU.

Phone: (3812) 31-16-88.

E-mail: mmx90@yandex.ru.

The report provides the results of a study of the effect of relaxation axle hydrodampers modern locomotives on the performance of their dynamic qualities. A comparative analysis of the dynamic properties of the damper with relaxation and without it on the simplest example of vibration isolation systems. On the basis of mathematical modeling comparative analysis of the

performance of the dynamic qualities of the modern locomotives with relaxation axle hydrodampers without it.

Keywords: the uniaxial model of the engine, suspension, acceleration, dynamic properties of the locomotive.

УДК 629.04.02

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОВОЗОВ НОВЫХ СЕРИЙ

Шантаренко Сергей Георгиевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе, зав. кафедрой «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

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», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 44-39-23.

E-mail: Aleksbakl@mail.ru

Пономарев Евгений Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской части, ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-16-27, 31-68-94.

E-mail: nich.omgups@mail.ru

Тараненко Виктор Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

Рассмотрены конструктивные особенности и эксплуатационная надежность электровозов новых серий 2ЭС6 и 2ЭС10. Даны рекомендации по повышению ресурса бандажей колес электровозов 2ЭС10 с асинхронным тяговым электроприводом. Исследована существующая конструкция системы подвешивания тягового электродвигателя электровоза 2ЭС6, проведен анализ ее влияния на работу узлов колесно-

моторного блока. Предложена усовершенствованная конструкция поводка подвески, позволяющая снизить динамические воздействия на колесно-моторный блок при движении электровоза по рельсовому пути и повысить надежность элементов конструкции механической части, в том числе и корпуса моторно-осевого подшипника качения.

Ключевые слова: конструктивные особенности электровозов новых серий, эксплуатационная надежность асинхронных тяговых электродвигателей, колесная пара, бандаж колеса, колесно-моторный блок, подвеска тягового электродвигателя, корпус моторно-осевого подшипника качения.

CONSTRUCTION FEATURES AND OPERATIONAL RELIABILITY OF ELECTRIC LOCOMOTIVES OF NEW SERIES

Shantarenko Sergei Georgievich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph.D., associate Professor, vice-rector, head. department «Technology of transport engineering and repair of rolling stock», OSTU.

Baklanov Aleksandr Alekseevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, K. Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Candidate of technical Science, senior lecturer of Department «Railway Rolling Stock», OSTU.

Phone: (3812) 44-39-23.

E-mail: Aleksbakl@mail.ru

Ponomarev Eugene Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, K. Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Candidate of technical Science, the chief of a research department, OSTU.

phone/fax.: (3812) 31-16-27, 31-68-94.

E-mail: nich.omgups@mail.ru

Taranenko Victor A.

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Graduate student of the Department «Technology of transport engineering and repair of rolling stock», OSTU.

Design features and operational reliability of electric locomotives of new series 2ES6 and 2ES10 are considered. Recommendations are given to increase the service life of wheel bands of electric locomotives 2ES10 with an asynchronous traction electric drive. The existing design of the

suspension system for the traction electric motor of the electric locomotive 2ES6 is investigated, and its effect on the operation of the wheel-motor unit is analyzed. An improved suspension leash design is proposed that allows to reduce the dynamic effects on the wheel-motor unit when the electric locomotive moves along the rail track and to increase the reliability of the mechanical parts, including the motor-axial bearing housing.

Keywords: design features of electric locomotives of new series, operational reliability of asynchronous traction motors, wheel pair, wheel band, wheel-motor unit, traction motor suspension, motor-axial bearing housing.

УДК 629.4.015

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ВАГОНА ПО АНАЛИЗУ ПАРАМЕТРОВ ПОЕЗДНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ В СЛОЖНОМ УЧАСТКЕ ГОРНОГО РЕЛЬЕФА ПУТИ ВСЖД

Ермоленко Игорь Юрьевич

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)

664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15.

Аспирант, ИрГУПС.

Телефон/факс +7 (964) 221-80-82.

E-mail для переписки lord2171@mail.ru.

Железняк Василий Никитович

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)

664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15.

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «ВиВХ».

Телефон/факс +7 (914) 896-97-92.

E-mail: zheleznyak_vn@irgups.ru.

На Восточно-Сибирской железной дороге существуют проблемные вопросы по пропуску грузовых поездов. В течение длительного времени наблюдается повышенный уровень и интенсивность отказов в работе буксовых узлов, что приводит не только к срыву графика движения грузовых и пассажирских поездов, но и увеличению времени и затрат на техническое обслуживание грузовых вагонов. В данной статье рассматривается постановка задачи оценки влияния колебаний механической системы, состоящей из кузова вагона и тележек, которые взаимодействуют с рельефом горного пути и дефектов на поверхности катания колесо-рельс. Проведена оценка работоспособности динамики вагона, анализ статического и динамического состояния системы вагон-путь, при наличии дефекта на поверхности катания колесо-рельс и их влияние на выработку рекомендаций по режиму ведения поезда.

Ключевые слова: собственные колебания, вагон, рельефный горный путь, динамическая модель, дефекты на поверхности катания колеса и рельса.

EVALUATION OF THE WAGON'S DYNAMICS BY ANALYSIS OF PARAMETERS OF TRAVEL TESTS AT MOTION IN THE COMPLEX SITE OF THE MOUNTAIN RELIEF OF THE ROADS OF THE EST

Ermolenko Igor Yurievich

Irkutsk State Transport University (ISTU)

664074, Irkutsk, ul. Chernyshevsky, 15.

Postgraduate Student, IrGUPS.

Phone / fax +7 (964) 221-80-82.

E-mail: lord2171@mail.ru.

Zheleznyak Vasily Nikitovich

Irkutsk State Transport University (ISTU)

664074, Irkutsk, ul. Chernyshevsky, 15.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Department of ViVH.

Phone / fax +7 (914) 896-97-92.

E-mail for correspondence zheleznyak_vn@irgups.ru.

On the East-Siberian railway, there are problematic issues to pass freight trains. For a long time there observed an increased level and intensity of withdrawal failure axle-box, which leads not only to derail the train sheet of freight and passenger trains, but also increases the time and cost for maintenance of freight cars. This article discusses the problem of assessing the impact of fluctuations in the mechanical system consisting of car body and the bogies, which interact with the terrain of a mountain path and defects on the surface of the wheel-rails. The evaluation of the working capacity of the wagon dynamics, the analysis of the static and dynamic state of the wagon-track system, in the presence of a defect on the surface of wheel-rail skating and their influence on the development of recommendations on the mode of conducting the train were made.

Keywords: free vibrations, car, mountain road, dynamic model, defects on tread area wheel-rail.

УДК 629.424:621.001.5

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОСТИ ДЕТАЛЕЙ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛ, В ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЕ И КРИВОШИПНО-ШАТУННОМ МЕХАНИЗМЕ

Минаков Виталий Анатольевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Старший преподаватель кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Лищенко Олеся Сергеевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студентка группы 35п, кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Применение процесса компьютерного моделирования, как метода научного познания, различных систем такого сложного устройства как тепловоз, обладает сочетанием множества преимуществ, одно из которых простота использования и отсутствие финансовых затрат. Компьютерное моделирование позволяет получить достоверные результаты за короткий срок без использования сложных устройств контроля качества работы контролируемых систем.

Ключевые слова: моделирование, SolidWorks, 3D проектирование изделий, кривошипно-шатунный механизм, шатун, поршень, статический анализ.

ANALYSIS OF THE TENSION OF THE DETAILS OF THE CRANK-CONNECTING MECHANISM AS A RESULT OF THE INTERACTION OF FORCES, IN THE CYLINDER-PISTON GROUP AND THE CRANK-AND-CRANK MECHANISM

Minakov Vitaliy Anatolyevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Senior lecturer of the department «Locomotives», OSTU.

Lishchenko Olesya Sergeevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Student, group 35p, of the department «Locomotives», OSTU.

The application of the process of computer modeling, as a method of scientific cognition, of various systems of such a complex device as a locomotive, has a combination of many advantages, the basis of which lies in the ease of use and the lack of financial costs. Computer simulation allows you to get reliable results for a relatively short period of time without using complex devices to monitor the quality of the operation of the monitored systems in operation.

Keywords: Simulation, SolidWorks, 3D product design, crank-connecting mechanism, connecting rod, piston, static analysis.

УДК 629.423 (075.8)

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ С ПОЗИЦИИ НАДЕЖНОСТИ

Швецов Семен Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-34-19.

E-mail: 89040708125@yandex.ru.

Гателюк Олег Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 44-23-57.

E-mail: GatelukOV@omgups.ru.

Приведены результаты исследований особенностей устройства и эксплуатации наиболее уязвимого оборудования электровозов последних лет выпуска с позиции надежности в условиях эксплуатации Урало-Сибирского региона

FEATURES OF THE DEVICE AND OPERATION OF ELECTRONICS FROM THE POSITION OF RELIABILITY

Shvetsov Simon Vasilyevich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph. D., associate professor of the department «Rolling stock of electric railways», OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-34-19.

E-mail: 89040708125@yandex.ru.

Gatelyuk Oleg V.

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Cand.Phys.Math.Sci., the senior lecturer of chair «Higher mathematics», OSTU.

Phone: (3812) 44-23-57.

E-mail: GatelukOV@omgups.ru.

Results of studies are the features of the device and the exploitation of the most vulnerable equipment electric locomotives in recent years, the issue of position of reliability in operation uralo-Siberian region.

**ВЫБОР ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА
СОСТОЯНИЯ КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УЗЛА ТЯГОВЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Харламов Виктор Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru.

Шкодун Павел Константинович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС) .

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru.

Огневский Андрей Сергеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

E-mail: ognevski93@mail.ru.

В статье проведен анализ статистических данных по отказам оборудования электровазов серии 2ЭС6, обозначены основные причины выхода из строя тяговых двигателей, предложена схема системы мониторинга технического состояния тяговых электродвигателей.

Ключевые слова: электроваз, отказ, тяговый электродвигатель, коммутация, искрение, испытания, анализ, диагностические параметры, система мониторинга

**CHOICE OF DIAGNOSTIC PARAMETERS FOR MONITORING THE CONDITION OF
THE COLLECTOR-BRUSH NODE OF RAIL MOTOR ELECTRIC MOTORS**

Harlamov Viktor Vasilevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Dr. Sci. Tech., professor, head of the department "Electrical machines and general electrical engineering", OSTU.

Tel.: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru.

Shkodun Pavel Konstantinovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph.D. in Technical Sciences, the senior lecturer of the department "Electrical machines and general electrical engineering", OSTU.

Tel.: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru.

Ognevskiy Andrey Sergeevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Graduate student of the department "Electrical machines and general electrical engineering", OSTU.

E-mail: ognevski93@mail.ru.

The article analyzes statistical data on failures of equipment of electric locomotives of the 2ES6 series, identifies the main reasons for the failure of traction motors, and proposes a scheme for monitoring the technical state of traction motors.

Keywords: electric locomotive, failure, traction electric motor, commutation, sparking, testing, analysis, diagnostic parameters, monitoring system

УДК 621.331:621.311

**ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Горькин Артём Владимирович

Омский государственный университета путей сообщений (ОмГУПС).

644046 г. Омск, пр. Маркса, 35

Аспирант кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», ОмГУПС.

Тел: 8-960-991-23-56.

E-mail: wert_81_06_28@mail.ru.

В статье рассмотрены вопросы диагностирования технического состояния и оценки остаточного ресурса быстродействующих выключателей и внесены предложения по изменению критериев оценки их параметров с учетом износа их дугогасящих контактов.

Сделаны выводы о возможности и целесообразности увеличения межремонтного интервала для быстродействующих выключателей.

Ключевые слова: быстродействующий выключатель; техническое состояние; ресурс; техническое обслуживание; эксплуатация; критерий, параметр, межремонтный интервал.

ASSESSMENT OF THE RESIDUAL RESOURCE OF HIGH-SPEED SWITCHES ON TRACTION SUBSTATIONS OF THE DIRECT CURRENT

Gor'kin Artyom Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Postgraduate of the chair "Rolling stock of electric Railways", OSTU.

Tel.: 8-960-991-23-56.

E-mail: wert_81_06_28@mail.ru.

In article questions of diagnosing of technical condition and assessment of a residual resource of high-speed switches are considered and offers on change of criteria for evaluation of their parameters taking into account wear their dugogasyashchikh of contacts are made. Conclusions are drawn on an opportunity and expediency of increase in a between-repairs interval for high-speed switches.

Keywords: high-speed switch; technical condition; resource; maintenance; operation; criterion, parameter, between-repairs interval.

УДК 621.314

АНАЛИЗ РЕГУЛЯТОРОВ МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Григорьева Каролина Андреевна

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)

664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15.

Студент, ИрГУПС.

Рассмотрены факторы, влияющие на работу асинхронных вспомогательных машин электровозов, устройства для регулирования мощности асинхронных двигателей и предложены регуляторы мощности, обеспечивающие непрерывное и полное использование электрического потенциала питающей сети для повышения энергетической эффективности и электромагнитной совместимости.

Ключевые слова: продолжительность, импульсные регуляторы напряжения, мощность, входное электрическое сопротивление, полупроводниковый прибор, накопитель электрической энергии, эффективность.

ANALYSIS OF POWER REGULATORS OF ASYNCHRONOUS AUXILIARY ELECTRIC MACHINES

Grigorieva Karolina Andreevna

Irkutsk State Transport University (ISTU)

664074, Irkutsk, ul. Chernyshevsky, 15.

Student, ISTU.

The factors affecting the performance of the induction auxiliary machines of electric locomotives, the device for regulating the power output of induction motors and proposed power regulators, ensuring the continuous and full utilization of the electrical potential of the supply network for energy efficiency and electromagnetic compatibility.

Keywords: duration, switching regulators, power, input electrical resistance, semiconductor device, and the storage of electrical energy, efficiency.

УДК 621.37

РЕАЛИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Елизаров Алексей Андреевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Автоматика и системы управления», ОмГУПС.

Тел.: 8-999-455-21-66.

E-mail: ElizarovAA@omgups.ru; alekseyelizar@yandex.ru.

В данной статье представлена информация об актуальности БПФ при диагностировании элементов подвижного состава. Описаны алгоритмы существующих алгоритмов БПФ и проведен их анализ на предмет быстродействия. По результатам анализа рекомендован алгоритм Radix-4.

Ключевые слова: быстрое преобразование Фурье, диагностика, бабочка, поворотный множитель, массив данных.

THE IMPLEMENTATION OF SPECTRAL METHODS OF DIAGNOSTICS

Elizarov Aleksei Andreevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m Omsk, 644046, Russia.

Graduate student of the department «Automatic and control systems», OSTU.

Phone: 8-999-455-21-66.

E-mail: ElizarovAA@omgups.ru; alekseyelizar@yandex.ru.

This article presents information on the relevance of the FFT when the diagnosis items of rolling stock. Described algorithms of the existing FFT algorithms and their analysis on the subject of performance. According to the analysis recommended by the algorithm Radix-4.

Keywords: fast Fourier transformation, diagnostics, butterfly, twiddle factor, an array of data.

УДК 621.436:629.421

КОНВЕРТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ ПРИ РАБОТЕ С ДОБАВКАМИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Носырев Дмитрий Яковлевич

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС).
443066, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Локомотивы», СамГУПС.
E-mail: tfmkdl@mail.ru.

Курманова Лейла Салимовна

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС).
443066, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18.

Аспирант кафедры «Локомотивы», СамГУПС.
E-mail: leyla_kurmanova@mail.ru.

Муратов Алексей Владимирович

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС).
443066, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы», СамГУПС.

Петухов Сергей Александрович

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС).
443066, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы», СамГУПС.
E-mail: sakmara-cite@mail.ru.

В статье рассмотрены перспективы использования природного газа как альтернативного топлива для автономных локомотивов. Показана возможность реализации принципа внутреннего смесеобразования на линии низкого давления с учетом конструктивных и эксплуатационных факторов автономных локомотивов. Предложена система топливоподачи газодизеля с внутренним смесеобразованием.

CONVERSION OF DIESEL TERRESTRIES FOR WORK WITH ADDITIVES OF NATURAL GAS

Nosyrev Dmitrii Jakovlevich

Samara State Transport University (SSTU),
2 V Svobody st., 443066 Samara, Russia,
Doctorate of Engineering, Professor, Professor of the department “Locomotives”.
E-mail: tfkdln@mail.ru.

Kurmanova Leila Salimovna

Samara State Transport University (SSTU),
2 V Svobody st., 443066 Samara, Russia,
The post-graduate student of the Department “Locomotives”.
E-mail: leyla_kurmanova@mail.ru.

Muratov Aleksei Vladimirovich

Samara State Transport University (SSTU),
2 V Svobody st., 443066 Samara, Russia,
PhD in Engineering, Associate Professor,
Associate Professor of the department “Locomotives”.

Petuhov Sergei Aleksandrovich

Samara State Transport University (SSTU),
2 V Svobody st., 443066 Samara, Russia,
PhD in Engineering, Associate Professor,
Associate Professor of the department “Locomotives”.
E-mail: sakmara-cite@mail.ru.

The article considers the prospects of using natural gas as an alternative fuel for autonomous locomotives. The possibility of realizing the principle of internal mixture formation on the low pressure line is shown taking into account the structural and operational factors of autonomous locomotives. A fuel supply system for a gas diesel with internal mixture formation is proposed.

УДК 629.4.015

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ В РЕЖИМЕ ТЯГИ НА СОВРЕМЕННОМ ТЯГОВОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

Литвин Светлана Алексеевна

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15.
Студент, ИрГУПС

Работа посвящена проблеме низкой эффективности последовательного возбуждения тяговых электродвигателей подвижного состава. В данной статье предложен независимый способ возбуждения электродвигателей, который позволяет устранить причину проблем использования последовательного возбуждения электродвигателей.

Ключевые слова: эффективность, энергия, регулятор тока, источник энергии, энергетические процессы, обмотка возбуждения, энергосбережение, независимое возбуждения.

JUSTIFICATION OF APPLICATION OF INDEPENDENT EXCITATION IN THE REGIME OF THE BLADE ON THE MODERN DRIVE MOBILE COMPOSITION

Litvin Svetlana Alekseevna

Irkutsk State Transport University (ISTU)

664074, Irkutsk, ul. Chernyshevsky, 15.

Student, ISTU.

The work is devoted to the problem of low efficiency of sequential excitation of traction electric motors of rolling stock. In this paper we propose an independent method of excitation of electric motors, which allows us to eliminate the cause of the problems of using sequential excitation of electric motors.

Keywords: efficiency, energy, current regulator, energy source, energy processes, excitation winding, energy saving, independent excitation.

УДК 629.4.015

ЛИНЕЙНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Мартусов Алексей Леонидович

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)

664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15.

Аспирант, ИрГУПС.

E-mail: aleksey.martusov@yandex.ru.

Работа посвящена проблеме низкой эффективности линейных преобразователей, используемых на испытательных станциях тяговых электродвигателей. В данной работе предложен линейный преобразователь на базе электрического полупроводникового вариатора, принцип действия которого позволяет устранить причину проблем использования известных устройств.

Ключевые слова: эффективность, энергия, мощность, источник энергии, полупроводниковый прибор, вариатор, накопитель энергии, потребитель энергии, линейный преобразователь.

LINEAR TRANSDUCER OF TEST MOTOR VEHICLE ELECTRIC MOTORS

Martusov Aleksey Leonidovich

Irkutsk State Transport University (ISTU)

664074, Irkutsk, ul. Chernyshevsky, 15.

Postgraduate Student, IrGUPS.

E-mail: aleksey.martusov@yandex.ru.

The work is devoted to the problem of low efficiency of linear converters used at testing stations of traction motors. In this paper, a linear converter based on an electric semiconductor variator is proposed, the principle of which allows to eliminate the cause of the problems of using known devices.

Keywords: efficiency, energy, power, power source, semi-conductor device, variator, energy store, cycle, energy load, linear converter.

УДК 621.436.12

ОБРАБОТКА ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА МОТОРНОГО МАСЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Овчаренко Сергей Михайлович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, ректор университета, заведующий кафедрой «Локомотивы», ОмГУПС.

Минаков Виталий Анатольевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Старший преподаватель кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

В работе описана методика применения искусственных нейронных сетей при обработке данных оценки результатов спектрального анализа моторного масла дизеля типа Д49. Даная методика применима для определения предотказного состояния деталей цилиндропоршневой группы и кривошипношатунного механизма.

PROCESSING DATA OF THE RESULTS OF SPECTRAL ANALYSIS OF ENGINE OIL WITH APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Ovcharenko Sergey Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Doctor of Technical Sciences, Rector of the University, Head of the Department «Locomotives», OSTU.

Minakov Vitaliy Anatolyevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Senior lecturer of the chair «Locomotives», OSTU.

The paper describes the technique of using artificial neural networks in processing data evaluating the results of spectral analysis of engine oil of type D49. This technique is applicable for determining the pre-stress state of the parts of the cylinder-piston group and the crank mechanism.

УДК 621.319

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДА-РАЗРЯДА ЛИТИЙ-ТИТАНАТНОГО АККУМУЛЯТОРА

Москалев Юрий Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-27.

E-mail: yuriyvm@mail.ru.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований процессов заряда-разряда литий-титанатного аккумулятора. Такой литий-ионный аккумулятор имеет необходимые показатели для использования в различных технических системах, в которых необходим энергоемкий и мощный накопитель энергии с ресурсом десятки тысяч циклов заряда-разряда. Приведены характеристики заряда и разряда литий-титанатного аккумулятора типа LTO 16160 с номинальным напряжением 2,3 Вольта и номинальной емкостью 30 Ампер-часов.

Ключевые слова: накопитель энергии, литий-титанатный аккумулятор, энергия рекуперации.

EXPERIMENTAL STUDIES CHARGING-DISCHARGING OF THE LITHIUM-TITANATE BATTERY

Moskalev Yuriy Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Cand. Tech. Sci., the senior lecturer of the department «Electric machines and electrical engineering», OSTU.

Phone.: (3812) 31-18-27.

E-mail: yuriyvm@mail.ru.

The article presents the results of experimental researches of processes of charge-discharge lithium-titanate battery. This Li-ion battery has a performance required for use in various technical systems, which require energy-intensive and powerful energy resource of tens of thousands of cycles of charge-discharge. The characteristics of charge and discharge lithium-titanate battery LTO 16160 with a rated voltage of 2.3 Volts and a nominal capacity of 30 Ampere-hours are shown.

Keywords: energy storage, lithium-titanate battery, recovery

УДК 629.4

ПЕРЕВОД ТЕПЛОВЗОВ НА СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

Свечников Александр Александрович

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС).

443066, г. Самара, ул. Свободы, 2 В.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы», СамГУПС.

Тел.: (846) 255-68-58.

E-mail: alexzander751@mail.ru.

Метальников Илья Владимирович

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС).

443066, г. Самара, ул. Свободы, 2 В.

Студент 5-го курса, специальность подвижной состав железных дорог кафедры «Локомотивы», СамГУПС.

Тел.: 8-937-207-15-66.

E-mail: ykraznzcev@mail.ru.

В статье приведен анализ преимуществ применения сжиженного природного газа (СПГ), как моторного топлива на железнодорожном транспорте. Представлена принципиальная схема газопоршневого двигателя с турбонаддувом. Рассмотрены преимущества предложенного двигателя. Приведены результаты расчетов работы двигателя 16ЧН26/26, при различных температурах воздуха, поступившего в рабочие

цилиндры. Расчетно-теоретическое исследование работы дизеля на сжиженном метане выполнено в программе Diesel-RK.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, газопоршневой двигатель, форкамера, Diesel-RK.

TRANSLATION OF DIESELE LOCOMOTIVES TO LIQUEFIED NATURAL GAS

Svechnikov Aleksandr Aleksandrovich

Samara State Transport University (SSTU).

443066, g. Samara, Svobody, 2 V, Russia.

Ph.D. in Technical Sciences, the senior lecturer of the department «Locomotives», SSTU.

Phone: (846) 255-68-58.

E-mail: alexzander751@mail.ru

Metalnikov Iliya Vladimirovich

Samara State Transport University (SSTU).

443066, g. Samara, Svobody, 2 V, Russia.

Student of the 5th course, major rolling stock of railways «Locomotives», SSTU.

Phone: 8-937-207-15-66.

E-mail: ykraznzcev@mail.ru

The article analyzes the advantages of using liquefied natural gas (LNG) as a motor fuel in railway transport. A schematic diagram of a gas piston engine with a turbo-supercharging is presented. The advantages of the proposed engine are considered. The results of the calculation of the operation of the engine 16FP26/26, at various temperatures of air, which entered the working cylinders, are given. Theoretically-calculated research of the operation of a diesel engine on liquefied methane was carried out in the Diesel-RK program.

Keywords: liquefied natural gas, gas piston engine, prechamber, Diesel-RK.

УДК 620.179.621.822.6

ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА – ОСОБЕННОСТИ И ИНТЕГРАЦИЯ В ПРОЕКТ «ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»

Тэттер Владимир Юрьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, ОмГУПС.

Телефон: (3812)-31-06-88.

E-mail: tetterv@gmail.com.

Тэттер Александр Юрьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, ОмГУПС.

Телефон: (3812)-31-06-88.

E-mail: te@omgups.ru.

Приведены особенности вибродиагностирования роторных узлов подвижного состава. Рассмотрены особенности аппаратной части и программного обеспечения. Проанализированы проблемы интеграции диагностического оборудования в проект «цифровая железная дорога». Определены направления совершенствования вибродиагностического оборудования.

Ключевые слова: вибродиагностика, подвижной состав, диагностические комплексы, цифровая железная дорога, перспективные методы диагностирования.

VIBRO-DIAGNOSTIC EQUIPMENT OF ROLLING STOCK – CHARACTERISTICS AND INTEGRATION IN THE PROJECT "DIGITAL RAILWAY"

Tetter Vladimir Yurievich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, OSTU,

Phone: (3812) -31-06-88.

E-mail: tetterv@gmail.com.

Tetter Alexander Yurievich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, OSTU.

Phone: (3812) -31-06-88.

E-mail: te@omgups.ru.

Given the peculiarities of the vibration diagnostics of rotor nodes of the rolling stock. The peculiarities of hardware and software. Analyzed the problems of integration of diagnostic equipment in the project "digital railway". Directions improve vibrodiagnostic equipment.

Keywords: vibration diagnostics, rolling stock diagnostic systems, digital railroad, advanced methods of diagnosing

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕИДЕНТИЧНОСТИ КОММУТАЦИОННЫХ ЦИКЛОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УЗЛА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Харламов Виктор Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru.

Попов Денис Игоревич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел. 8-900-674-99-41.

E-mail: popovomsk@yandex.ru.

Афонин Александр Петрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Соискатель по кафедре «Электрические машины и общая электротехника», ОмГУПС.

Тел. 8-903-927-02-89.

E-mail: mainsat@ya.ru.

В статье показана необходимость учета параметров закона распределения интенсивности искрения в процессе диагностирования состояния коллекторно-щеточного узла. Обоснованы векторные параметры диагностирования, отражающие неидентичность коммутационных циклов. Предложена форма отображения новых параметров в виде трехмерных векторов.

Ключевые слова: тяговый электродвигатель, диагностические параметры, неидентичность коммутационных циклов, закон распределения, интенсивность искрения.

APPLICATION OF THE INTEGRATED PARAMETERS OF COMMUTATION CYCLES NONIDENTITY TO DIAGNOSE THE CONDITION OF COLLECTOR- BRUSH UNIT OF TRACTION DC MOTOR

Kharlamov Victor Vasilievich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Electrical Machines and General Electrical Engineering», OSTU.

Phone: (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru.

Popov Denis Igorevich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Electrical Machines and General Electrical Engineering», OSTU.

Tel. 8-900-674-99-41.

E-mail: popovomsk@yandex.ru.

Afonin Alexander Petrovich

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Applicant for the department «Electrical Machines and General Electrical Engineering», OSTU.

Tel. 8-903-927-02-89.

E-mail: mainsat@ya.ru.

The article presents the necessity of considering parameters of the distribution law of the sparking intensity in the process of diagnosing the collector-brush unit's condition. Justified vector parameters of diagnosis, indicating the nonidentity of switching cycles. Proposed the form of the new parameters in the form of three-dimensional vectors.

Keywords: traction DC motor, diagnostic parameters, nonidentity of commuting cycles, distribution law, intensity of the sparking.

УДК 621.316

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ
В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Черемисин Василий Титович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644041, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, директор НИИ энергосбережения на железнодорожном транспорте, заведующий кафедрой «Подвижной состав электрических железных дорог».

E-mail: cheremisinv@gmail.com.

Третьяков Евгений Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644041, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог».

E-mail: eugentr@mail.ru.

Инновационное развитие электросетевой компании направлено на создание устойчивой, эффективной, гибкой и интеллектуальной электрической инфраструктуры. Целью исследования является повышение эффективности транспорта электроэнергии в системе электроснабжения ремонтных предприятий железных дорог за счет интеллектуальных технологий управления мощностью

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть железных дорог, оперативное управление, потоки мощности.

INTELLIGENT POWER CONTROL IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF REPAIR SHOPS OF RAILWAYS

Cheremisin Vasily Titovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Director of the Research Institute of Energy Saving in Railway Transport, head of the Department "Rolling Stock of Electric Railways".

E-mail: cheremisinvt@gmail.com.

Tretyakov Evgeny Alexandrovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

PhD in Engineering sciences, associate Professor of the Department "Rolling Stock of Electric Railways".

E-mail: eugentr@mail.ru.

Инновационное развитие электросетевой компании направлено на создание устойчивой, эффективной, гибкой и интеллектуальной электрической инфраструктуры. Целью исследования является повышение эффективности транспорта электроэнергии в системе электроснабжения ремонтных предприятий железных дорог за счет интеллектуальных технологий управления мощностью.

Keywords: electrical distribution network of the Railways, operational management, power flows.

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Иванченко Владимир Иванович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», ОмГУПС.

E-mail: ivanchenko-v.i@yandex.ru.

Комяков Александр Анатольевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая электротехника», ОмГУПС.

E-mail: tskom@mail.ru.

Эрбес Виктор Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, инженер НИЧ, ОмГУПС.

E-mail: erbes-viktor@mail.ru.

В работе представлено описание основных элементов и принципа работы устройства, реализующего бесконтактный метод контроля времени работы электрооборудования, что в свою очередь необходимо для расчетов показателя энергетической эффективности производственного процесса и ресурса электрооборудования для планирования технического обслуживания и ремонта. Полученные результаты позволяют обосновать возможность применения предлагаемого устройства на объектах электроснабжения.

Ключевые слова: электрооборудование, энергетическая эффективность, время наработки, техническое обслуживание и ремонт.

**ELABORATION THE DEVICE OF MONITORING THE ROLLING STOCK REPAIR
ENTERPRISES ELECTRICAL EQUIPMENT OPERATION TIME**

Ivanchenko Vladimir I.

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Post-graduate student of the «Electric railways rolling stock» department, OSTU.

E-mail: ivanchenko-v.i@yandex.ru

Komyakov Alexandr A.

Omsk State Transport University (OSTU)

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair «Theoretical the electrical engineer», OSTU.

E-mail: tskom@mail.ru.

Erbes Viktor V.

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Ph.D, Engineer of research department, OSTU.

E-mail: erbes-viktor@mail.ru.

In the work it provides a description of the main elements and operation principle of the device implementing the method of contactless monitoring the operation time of the electric equipment, which in turn is needed to calculate the energy efficiency of the production process and resource for electrical maintenance planning. The obtained results allow to prove possibility of application the device on objects of power supply.

Keywords: electrical equipment, energy efficiency, operation time, maintenance and repair.

УДК 621.311.1

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Заренков Семен Валерьевич

ООО «Техносканер».

Кандидат технических наук, директор ООО «Техносканер».

Тел: 8 (968) 107-44-77.

E-mail: svz-05@mail.ru.

Еркебаев Айбек Жомартович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», ОмГУПС.

Тел 8 (960) 989-13-12.

E-mail: aibek_03.8989@mail.ru.

В статье рассматриваются вопросы факторов, влияющие на снижение энергоемкости железнодорожного транспорта. При определении, которого учитывается потребление всех видов топлива и энергии по всем направлениям расхода, включая отопление, вентиляцию, водоснабжение, потери в сетях, независимо от источников энергоснабжения. Приведен анализ энергетических аудитов отраслевых предприятий

железнодорожного транспорта, который позволил выявить наиболее значимые факторы. Показано что, применение нового критерия оценки энергоемкости транспорта электрической энергии (г.у.т./кВт·ч) вместо процентов потерь (%) позволяет наглядно и однозначно оценивать альтернативные варианты энергоснабжения.

Ключевые слова: факторы, энергоемкость, источники энергоснабжения, критерии оценки, проценты потерь, энергоснабжение.

THE MAJOR FACTORS INFLUENCING DECREASE IN POWER CONSUMPTION RAILWAY TRANSPORT

Zarenkov Semen Valerevich

LLC «Техносканер».

Ph.D., Director of LLC «Техносканер».

Phone: 8 (968) 107-44-77.

E-mail: svz-05@mail.ru.

Yerkebayev Aibek Jomartovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av. Omsk, 644046, Russia.

Post-graduate student of the department «Electric power supply of railway transport», OSTU.

Phone: 8 (960) 989-13-12.

E-mail: aibek_03.8989@mail.ru.

*In article the questions of factors influencing decrease in energy consumption of railway transport are considered. When determining which consumption of all types of fuel and energy in all directions of an expense, including heating, ventilation, water supply, losses in networks, irrespective of power supply sources is considered. The analysis of power audits of the branch enterprises of railway transport which has allowed to reveal the most significant factors is provided. It is shown that, use of new criterion for evaluation of power consumption of transport of electric energy (g.o.e./kW*h) instead of percent of losses (%) allows to estimate visually and unambiguously alternative options of power supply.*

Keywords: factors, energy consumption, power supply sources, criteria for evaluation, percent of losses, power supply

Научное издание

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕМОНТА И
ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Материалы IV всероссийской научно-технической конференции
с международным участием

Ответственный за выпуск С. Г. Шантаренко

* * *

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 01.12.2017. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Плоская печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 23,3. Уч.-изд. л. 25,8.
Тираж 300 экз. Заказ .

* *

Типография ОмГУПС

*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35