На правах рукописи

Фейзов Эмин Эльдарович

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Специальность 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Ростов-на-Дону

2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС).

Научный руководитель: Шаповалов Владимир Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные машины и триботехника» ФГБОУ ВО РГУПС

Официальные оппоненты: Буйносов Александр Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая тяга» ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»;

Богданов Виктор Михайлович – кандидат технических наук, главный научный сотрудник ОАО «ВНИИЖТ»

Ведущая организация: открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (ОАО «ВНИКТИ»)

Защита состоится «13» марта 2017 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 218.010.01 при ФГБОУ ВО РГУПС по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО РГУПС по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2 и на сайте http://www.rgups.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 218.010.01
доктор технических наук, профессор В.А. Соломин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Увеличение ресурса колесных пар подвижного состава и рельсов является стратегически важной задачей железнодорожной отрасли.

С целью решения задач повышения качества, эффективности эксплуатации и надежности подвижного состава и железнодорожного пути, а также выполнения «Плана развития ОАО “РЖД” до 2030 года» необходимо определить факторы и степень их влияния на условия взаимодействия колеса с рельсом, соответственно на ресурс колесных пар и рельсов, на безопасность движения.

Определение рациональных режимов взаимодействия подвижного состава и пути, разработка систем, средств и материалов, снижающих износ элементов пути и ходовых частей подвижного состава, совершенствование методов увеличения ресурса колесных пар подвижного состава представляют собой важную практическую ценность. Реализация этих задач позволяет обеспечить ряд положительных эффектов: предотвращение вкатывания гребня колеса на головку рельса; увеличение ресурса колесных пар подвижного состава; снижение сопротивления движению поезда в кривых и прямых участках пути и, следовательно, экономия топливно-энергетических ресурсов; повышение уровня безопасности движения на железнодорожном транспорте; улучшение экологических показателей железнодорожного транспорта (снижение шума, вибрации, загрязнения окружающей среды) и др.

На ресурс колесных пар подвижного состава и рельсов влияют более 20 факторов, среди них ведущими являются следующие: наличие модификатора трения и его тип; величина зазоров в системе «колесо – рельс»; конструктивные особенности локомотивов, вагонов, пути, возвышение рельсов в кривых; скорость движения поездов; профили рельсов и колес; свойства материалов колеса и рельса; угол набегания колесных пар на рельс; нагруженность в зоне контакта; внешние погодные условия (влага, температура и т. д.); состояние тормозной системы (возможность возникновения двусторонних «ползунов»); условия контактирования колес вагонов с рельсами при выполнении работ по их сортировке; наличие и качество демпфирующих связей в системе «подвижной состав – путь» и др.

Для решения задачи увеличения ресурса колесных пар подвижного состава и в целом повышения экономических и экологических показателей системы «подвижной состав – путь» необходимо выполнить комплекс теоретических и экспериментальных исследований, которые позволят разработать и усовершенствовать методы, направленные на улучшение условий взаимодействия колес подвижного состава с рельсами.

Степень разработанности темы исследования. В настоящее время изучением темы взаимодействия колес с рельсами занимаются отечественные и зарубежные ученые, однако, несмотря на достигнутые успехи, проблема увеличения ресурса колесных пар подвижного состава путем улучшения

условий взаимодействия рабочих поверхностей колесных пар и рельсов на микроуровне сохраняет остроту и требует своего дальнейшего решения.

С целью преодоления термомеханических повреждений колесных пар подвижного состава и рельсов, под руководством доктора технических наук, профессора В.В. Шаповалова, разработаны теоретические основы динамического мониторинга так называемых фрикционных мобильных систем, к которым относится, в частности, система «колесо – рельс». При этом тема изучения аномального состояния контакта колеса с рельсом, термомеханических повреждений колес на немеханизированных сортировочных горках, влияния смазочных материалов на формирование максимальных температур в контакте остается недостаточно изученной.

Цель и задачи исследования. ***Целью*** работы являются разработка и совершенствование научно обоснованных методов и способов, направленных на увеличение ресурса колесных пар подвижного состава, на повышение эффективности эксплуатации системы «подвижной состав – путь».

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие ***задачи*:**

1 Определение основных факторов, влияющих на ресурс колесных пар, с учетом специфики условий эксплуатации подвижного состава.

2 Предложение схемы контроля состояния контакта колеса и рельса.

3 Разработка технологии и технологического оборудования для увеличения ресурса колесных пар подвижного состава.

4 Апробирование предложенных методов и способов увеличения ресурса колесных пар подвижного состава в эксплуатации.

Объект исследования: система «подвижной состав – путь», подсистема «колесо – рельс».

Предметом исследования является изучение возможностей управления термомеханическими и динамическими процессами для увеличения эксплуатационного ресурса системы «подвижной состав – путь», в частности подсистемы «колесо – рельс».

Научная новизна:

1 Выведен критерий обеспечения идентичности поверхностных температур на натурном и модельном объектах для контакта «колесо – рельс».

2 Разработан метод оценки термомеханической нагруженности зоны контакта колеса с рельсом при наличии в ней смазочного материала.

3 Предложена схема контроля состояния контакта колеса и рельса.

4 Разработан контактно-ротапринтный способ рельсосмазывания, в котором в качестве рабочего органа используются гребни колесных пар подвижного состава.

5 Разработан способ двухкоординатного демпфирования и самоуплотнения в противоползунных системах.

Теоретическая и практическая значимость работы

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать способ, технологию, технологическое оборудование и

расходные материалы для модифицирования рабочих поверхностей бандажей колесных пар локомотивов с целью увеличения ресурса системы «колесо – рельс». Полученные результаты были реализованы в виде рельсосмазывающего поезда. Обеспечено нанесение на рабочие поверхности колес и рельсов смазочного материала, снижающего интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов до уровня 0,1–0,2 мм/10 тыс. км и, как следствие, увеличивающего ресурс колесных пар и рельсов на 20–40 %.

Разработаны способ, технология и технологическое оборудование для устранения термомеханических дефектов (односторонних «ползунов») поверхностей катания колес вагонов, резко снижающих их ресурс. В течение четырех лет оптимизированная противоползунная система (ППС), исключающая образование односторонних «ползунов», успешно эксплуатировалась на немеханизированной сортировочной горке. На оборудованных тормозных позициях сортировочной горки ст. Тихорецкая было обеспечено стопроцентное предотвращение образования односторонних «ползунов» при реализации сортировочного процесса и, как следствие, полное сохранение ресурса бандажей колесных пар вагонов при осуществлении «башмачного» торможения.

Комплексные всесезонные эксплуатационные испытания подтвердили высокую эффективность разработанных и усовершенствованных способов увеличения ресурса колесных пар подвижного состава.

Разработанный метод оценки термомеханической нагруженности зоны контакта колеса с рельсом и предложенная схема контроля состояния контакта колеса и рельса позволяют оценивать потери тяговой мощности путем контроля наличия или отсутствия смазочного материала в контакте колес подвижного состава с рельсами, а также посредством прогнозирования остаточного ресурса разового нанесения смазочных материалов.

Методология и методы диссертационного исследования

Для решения поставленных задач использовались методы физико-математического моделирования процессов взаимодействия колеса с рельсом, трибоспектральной идентификации термомеханических процессов взаимодействия колеса с рельсом, математического планирования эксперимента. Также были проведены экспериментальные исследования с соответствующими конструктивными и проверочными расчетами.

Положения, выносимые на защиту:

1 Критерий обеспечения идентичности поверхностных температур на натурном и модельном объектах для контакта «колесо – рельс», повышающий вероятность соответствия данных, полученных в лабораторных исследованиях и в натурных условиях.

2 Метод оценки термомеханической нагруженности зоны контакта колеса с рельсом путем идентификации поверхностных температур в контакте «колесо – рельс», позволяющий определить зависимость динамики системы и максимальных поверхностных температур от наличия «третьего тела» в контакте.

3 Схема контроля состояния контакта колеса и рельса, позволяющая контролировать наличие смазочного материала или его отсутствие в контакте по косвенным интегральным оценкам диссипации.

4 Контактно-ротапринтный способ рельсосмазывания, в котором в качестве рабочего органа используются гребни колесных пар подвижного состава.

5 Противоползунная система с реализацией двухкоординатного демпфирования и эффекта самоуплотнения, обеспечивающая стопроцентное исключение образования односторонних «ползунов» – термомеханических повреждений колес и рельсов.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность результатов исследования подтверждена корректной постановкой задач исследования, а также высокой согласованностью результатов натурных испытаний и данных физического моделирования. При разработке схемы контроля состояния контакта «колесо – рельс» были использованы известные классические амплитудно-частотные характеристики динамических систем.

Основные положения и результаты исследований, выводы и рекомендации прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях в период с 2008 по 2015 г. Материалы опубликованы в виде тезисов [3, 9, 10, 12, 14, 17, 20, 24–27, 30, 33].

Публикации. По результатам проведенных исследований опубликованы 33 печатные работы, в том числе 8 работ в центральных изданиях, включенных в перечень периодических изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России для соискателей ученых степеней, имеется 5 патентов на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, 5 приложений и 145 использованных литературных источников. Текстовая часть содержит 186 страниц машинописного текста.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** отражены актуальность темы исследования, степень ее разработанности, представлены цель и задачи диссертационной работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов исследования.

В **первой главе** выполнен анализ существующих схем и средств улучшения условий взаимодействия колес подвижного состава с рельсами, направленных на увеличение ресурса колесных пар подвижного состава и рельсов.

Рассмотрены проблемы взаимодействия подвижного состава и пути, влияния условий взаимодействия колес с рельсами на технико-экономические показатели эксплуатации подвижного состава. Проведен анализ технологий и технологического оборудования, используемых на сети железных дорог, в трех

основных технологических схемах лубрикации контакта колеса с рельсом, а также зарубежного опыта комплексной лубрикации для увеличения ресурса колесных пар и рельсов в системе «подвижной состав – путь». Проанализированы типы бандажей колес локомотивов и схем их обточки. Рассмотрено применение современных энергосберегающих технических средств и систем, обеспечивающих увеличение ресурса колесных пар.

Показана актуальность задачи разработки технических мероприятий по увеличению ресурса колесных пар подвижного состава в транспортной системе «подвижной состав – путь». Сформулированы цели и задачи исследования.

Вторая глава посвящена определению посредством анализа априорной информации основных факторов, влияющих на ресурс колесных пар и рельсов, с учетом специфики условий эксплуатации подвижного состава. Для решения поставленных задач необходимо было определить факторы, влияющие на ресурс колесных пар и рельсов, классифицировать и выявить наиболее существенные из них. С помощью метода ранговой корреляции (априорного ранжирования) была установлена весомость каждого фактора, оказывающего наиболее существенное влияние на ресурс колесных пар подвижного состава.

Обработка информации показала, что максимально влияющими на ресурс колесных пар факторами являются:

1) наличие, тип и способ нанесения модификатора в контакте «колесо – рельс»;

2) образование термомеханических дефектов поверхностей катания колес – «ползунов»;

3) отношение твердостей материалов рабочих поверхностей колесных пар и рельсов;

4) наличие эффективного динамического мониторинга системы «подвижной состав – путь», в частности подсистемы «колесо – рельс».

Третья глава посвящена методикам и лабораторному оборудованию для комплексных исследований системы «подвижной состав – путь».

С помощью метода физико-математического моделирования согласно структурной модели системы «подвижной состав – путь» получена функциональная зависимость процесса, где интенсивность износа I – главный критерий оценки функционирования системы, определяющий соответствующие ресурсные характеристики:

$$I = \Phi(\sigma, V, N, l, \Delta\Theta, k, q, V_{\text{СК}}, I_0, \beta, n, F_{\text{сц}}, \tau, L),$$

где σ – коэффициент теплоотдачи, Вт/(К·м^2); V – скорость качения, м/с; N – нормальная нагрузка колеса на рельс, Н; l – линейный размер, м; $\Delta\Theta$ – температурный градиент, К/м; k – частота собственных колебаний, с$^{-1}$; q – давление в контакте, Па; $V_{\text{СК}}$ – скорость скольжения, м/с; I_0 – интенсивность охлаждения, Вт/м^2; β – коэффициент сопротивления, (Н·с)/м; n – частота вращения, с$^{-1}$; $F_{\text{сц}}$ – сила сцепления, Н; τ – время трения, с; L – путь трения, м.

На основе метода анализа размерностей с ограничениями в краевые условия введены градиент температуры $\Delta\Theta$, контактное давление q, частота колебаний k; выбраны четыре базисных параметра с возможностью измерения в лабораторных условиях: коэффициент теплоотдачи σ, скорость качения V, нагрузка N, линейный размер l.

Получено уравнение подобия:

$$I = f\left(\frac{kl}{V}, \frac{\Delta\Theta\sigma l^3}{VN}, \frac{q \cdot l^2}{N}, \frac{V_{\text{СК}}}{V}, \frac{I_0 \cdot l^2}{VN}, \frac{\beta V}{N}, \frac{n \cdot l}{V}, \frac{F_{\text{сц}}}{N}, \frac{\tau V}{l}, \frac{L}{l}\right).$$

Полученные соотношения были проверены по стандартным критериям гомохронности, Ньютона, Фруда.

С целью обеспечения идентичности поверхностных температур на натурном и модельном объектах для контакта «колесо подвижного состава – рельс» выведен критерий π_{TTD}:

$$\pi_{TTD} = TTD\ \frac{q \cdot V_{\text{СК}} \cdot \sigma}{I_0 \cdot \beta \cdot k \cdot n} = \text{idem}.$$

Обеспечение условий проведения лабораторных исследований с учетом представленных критериев повышает вероятность соответствия данных, полученных в лабораторных исследованиях и в натурных условиях.

Таким образом, с помощью метода физико-математического моделирования, были получены характеристики механической системы «подвижной состав – путь» и подсистемы «колесо – рельс», с учетом которых был осуществлен выбор экспериментальных установок.

С применением полученных в данной главе масштабных коэффициентов перехода на базе физико-математического моделирования для исследования динамических свойств системы «подвижной состав – путь» были использованы следующие экспериментальные комплексы: катковый стенд в масштабе 1:5 с расчетными значениями параметров системы, установка для исследования характеристик контакта «колесо – рельс» в масштабе 1:24.

На рисунке 1 представлен катковый стенд для исследования динамики тягового подвижного состава и пути. Для исследования термомеханической нагруженности системы «колесо – рельс» использована специальная установка трения СМЦ-2.

Как было сказано выше, контроль (мониторинг) условий взаимодействия колеса подвижного состава с рельсом входит в число ключевых факторов, влияющих на величину ресурса колесных пар, а также на эффективность и безопасность эксплуатации системы «подвижной состав – путь». Создание системы мониторинга подсистемы «колесо – рельс» является одной из важнейших задач железнодорожной отрасли.

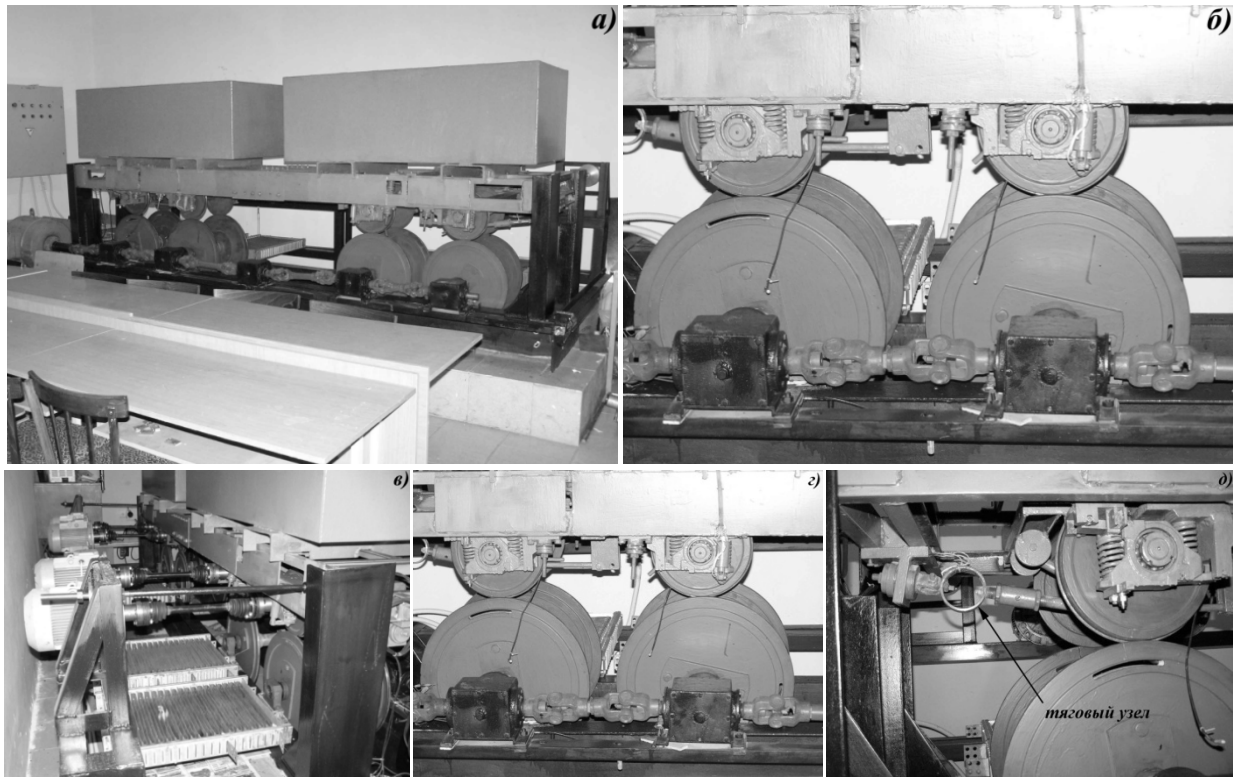


Рис. 1. Катковый стенд для исследования динамики
тягового подвижного состава и пути:
а, *б* – внешний вид стенда; *в* – конструкции моторно-осевых блоков;
г – конструкции системы «колесо – рельс»; *д* – конструкция
тягового узла нагружения

Вопросы мониторинга условий взаимодействия колеса с рельсом, оценки термомеханической нагруженности зоны контакта колеса с рельсом решены в работе путем идентификации температуры в зоне контакта колеса с рельсом. Данный параметр напрямую связан с состоянием контакта, с наличием «третьего тела» (модификатора, смазочного материала) в контакте. Кроме того, контроль наличия данных о температуре позволяет прогнозировать остаточный ресурс вносимых в контакт модификаторов. Например, в случае выполнения работ по лубрикации имеется возможность исключить режим контактирования гребня колеса подвижного состава с боковой поверхностью головки рельса без «третьего тела» и тем самым избежать сверхнормативного износа рабочих поверхностей, ведущего к резкому снижению ресурса колесных пар, понижению эффективности системы «подвижной состав – путь» и уровня безопасности ее эксплуатации.

С целью решения задачи по разработке схемы контроля состояния поверхностей колеса и рельса был разработан способ динамического мониторинга фрикционных мобильных систем и получен соответствующий патент на изобретение. Разработан метод идентификации поверхностных температур в контакте «колесо – рельс», согласно которому оценка состояния рассматриваемой системы осуществляется по анализу интегральных оценок, запасу устойчивости по амплитуде и фазе амплитудно-фазочастотных

характеристик. Данный метод позволяет косвенным способом идентифицировать условия, характерные для термомеханических повреждений контактирующих поверхностей, и оценить максимальный уровень температуры в контакте на основании базы интегральных оценок как на всем частотном диапазоне регистрации амплитудно-фазочастотных характеристик системы, так и на заданных октавных (1/3, 1/12, 1/24 – долеоктавных) диапазонах частот, либо заданных частотных диапазонах механической системы.

Четвертая глава посвящена разработке комплекса мероприятий, направленных на увеличение ресурса колесных пар подвижного состава.

С целью увеличения ресурса колесных пар и рельсов разработан способ управляемого движения тележек подвижного состава при вписывании в кривые, который основан на использовании принципа обеспечения разности проскальзывания колес относительно внешней и внутренней нитки рельсов. Техническим результатом управления движением тележек локомотива при вписывании в кривые является перераспределение продольных сил скольжения по колесам и, как следствие, снижение боковых усилий колесных пар на путь.

На основании предложенного метода перераспределения моментов, прикладываемых к колесу, взаимодействующему с тормозным башмаком, и к колесу, скользящему по рельсу, для исключения термомеханического повреждения колесных пар вагонов на сортировочной горке ст. Тихорецкая Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» была внедрена и успешно эксплуатировалась противоползунная система. Данная противоползунная система с оптимизированными упруго-диссипативными связями и эффектом самоуплотнения исключает образование термомеханических дефектов поверхности катания колес вагонов – «ползунов».

Лубрикация играет существенную роль в железнодорожном транспорте. Это один из основных аспектов ресурсосберегающих технологий программы развития ОАО «РЖД», определяющих конкурентоспособность железнодорожной отрасли в целом. Результатом процессов взаимодействия гребней колес и боковой поверхности головки рельса являются интенсивный износ колес и рельсов, а также потери до 10 % тяговой мощности.

Система «колесо – рельс» является открытым узлом трения, работающим в сложных условиях эксплуатации при воздействии неблагоприятных факторов внешней среды. Качественная и точная лубрикация рабочих поверхностей гребней колес и головки рельса увеличивает ресурс рельсов, колесных пар по гребню, уменьшает вероятность вкатывания колеса на головку рельса, а также снижает потери тяговой мощности и шумовое воздействие на окружающую среду.

Совместными усилиями ученых, специалистов ФГБОУ ВО РГУПС и Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» была разработана принципиально новая система модифицирования контакта «колесо – рельс». В работе впервые реализован контактно-ротапринтный способ рельсосмазывания, где рабочим органом являются гребни бандажей колесных пар рейсового подвижного состава. Достигнут эффективный показатель коэффициента

перехода применяемого смазочного материала – смазочных стержней РАПС – с гребней колес на боковую поверхность головки рельса в месте контактирования на уровне 80–90 %.

Техническим результатом данной работы стало изготовление и успешное апробирование конструкции автоматического гребнерельсосмазывателя (АГРС). Рассмотрены вопросы автоматизации процесса лубрикации контакта «колесо – рельс», в частности оптимизация параметров пневмопривода подачи модификаторов трения.

С целью повышения эффективности рельсосмазывания была разработана технология сквозной лубрикации на базе стержневых лубрикаторов с бункерами повышенной емкости АГРС. Предложена новая схема крепления АГРС на буксовом узле, позволяющая в 10–15 раз снизить динамические нагрузки на конструкцию и обеспечить точность нанесения смазочного материала на рабочие поверхности колес локомотивов. Основным назначением устройства позиционирования лубрикатора является обеспечение необходимой ориентации смазывающих стержней относительно гребней колес в условиях пространственных колебаний тележки и колесной пары при движении локомотива.

Механическая часть АГРС (рис. 2) состоит из лафета *1*, жестко закрепленного на подрессоренной массе – раме тележки *6*, который шарнирно связан с корпусом посредством шарнира *2*. Подпружиненный системой *4* относительно рамы тележки корпус включает в себя бункер-накопитель *3* для смазочных стержней *7*, пневмопривод *8* и направляющий канал *9*, который фиксируется относительно смазываемой поверхности гребня колеса *10* внешними и внутренними тягами *5*, связанными с неподрессоренной массой – буксовым узлом *11*. Бункер-накопитель с пневмоприводом монтируется на раме тележки тягового подвижного состава на каждом колесе, а система автоматического регулирования – внутри кабины.

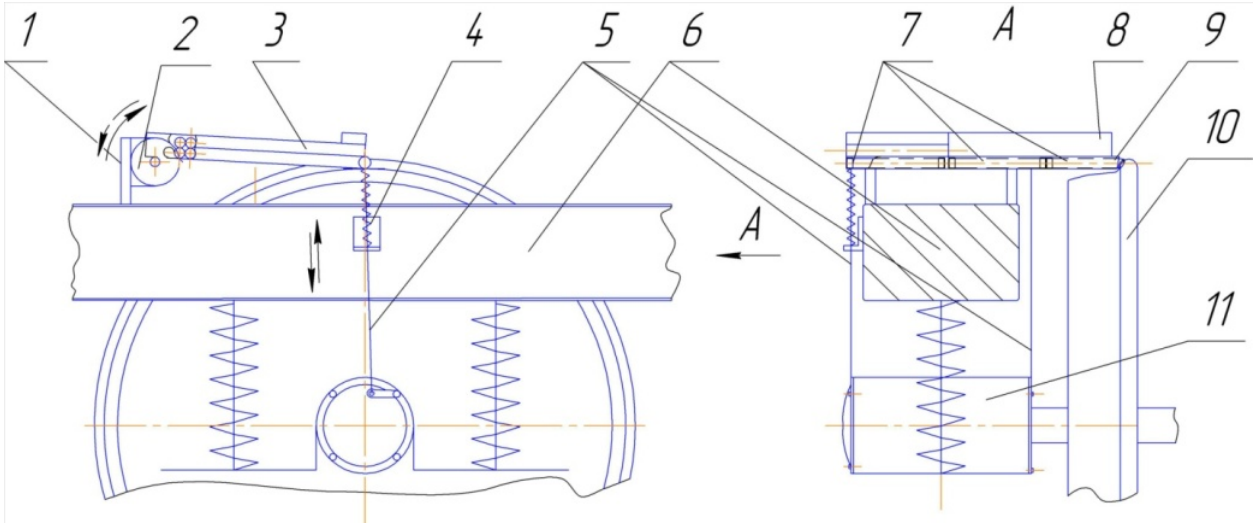


Рис. 2. Схема крепления АГРС

Предварительное определение основных параметров возвращающей пружины *4*, а также величины предварительного натяжения троса *5* было выполнено методами математического моделирования динамической системы «экипаж – лубрикатор». Согласно расчетам получены рациональные значения параметров системы, которые были уточнены в ходе модельных испытаний на катковом стенде и в ходе натурных испытаний (см. табл.).

Значения параметров системы (см. рис. 2)

Условия/ параметры	Жесткость троса *5*, $c_н \times 10^6$, Н/м	Жесткость пружины *4*, $c_л$, Н/м	Смещение троса *5*, $-z_{сн}$, м	Средне-квадратичное отклонение, $\sigma_z \times 10^4$, м	Динамическая нагрузка на накопитель *3*, $P_н$, Н
Расчет	0,107	1006,5	0,046	1,98	182,7
На модели (М 1:5)	0,04	40	0,01	0,4	35
На натуре	0,1	950	0,05	2	169

С целью обеспечения надежности автоматизированной пневмосистемы привода подачи смазочных стержней, с помощью методов физико-математического моделирования, планирования эксперимента, была произведена оптимизация параметров пневмопривода. Было достигнуто снижение давления в пневмосистеме для преодоления момента трения покоя в пневмоцилиндрах с 0,04–0,06 МПа до 0,005–0,01 МПа (уровень рабочего давления) на 85 %.

Отдельный раздел посвящен исследованиям, направленным на повышение надежности, качества подвижного состава и эффективности его использования, а именно разработке метода оценки термомеханической нагруженности зоны контакта колеса с рельсом путем идентификации поверхностных температур в контакте «колесо – рельс» при наличии «третьего тела» (модификатора, смазочного материала).

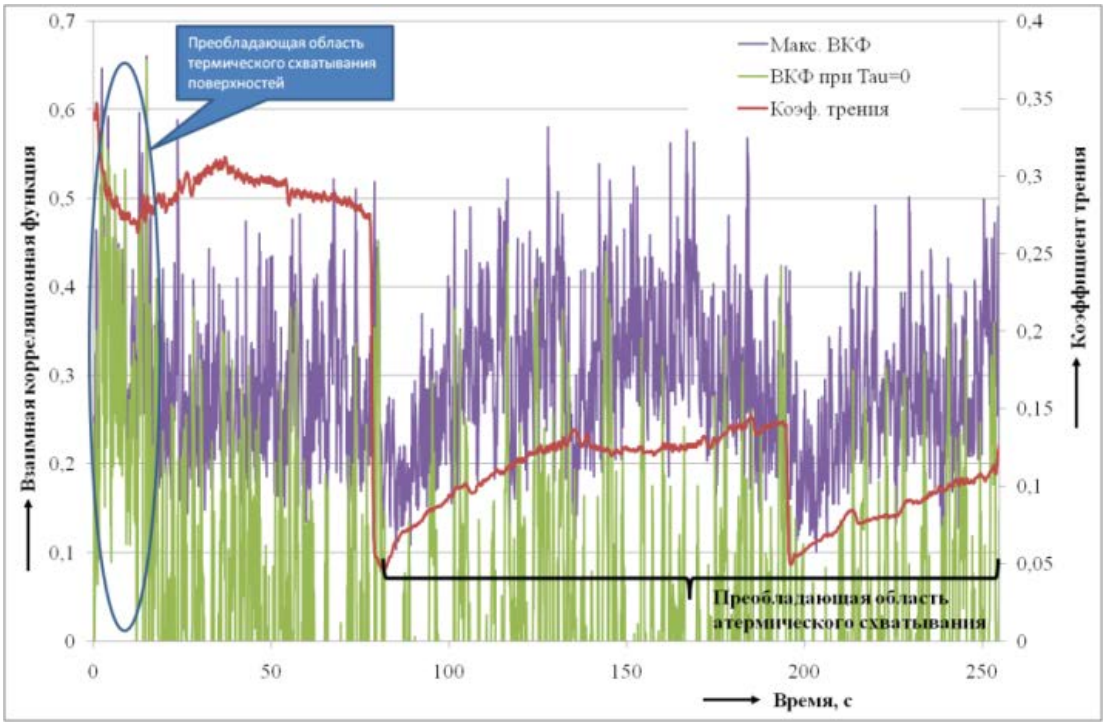
Величина фактической площади касания (ФПК) рабочих поверхностей колеса и рельса нелинейно зависит от большого числа факторов и в процессе эксплуатации узлов трения может меняться в десятки и сотни раз.

Таким образом, значительные нагрузки при уменьшении ФПК приводят к возрастанию температуры в контакте «колесо – рельс», а высокая температура, в свою очередь, приводит к формированию условий для термомеханических повреждений поверхностей. Для безопасности движения подвижного состава в криволинейных участках пути необходимо осуществлять мониторинг параметров контакта «колесо – рельс».

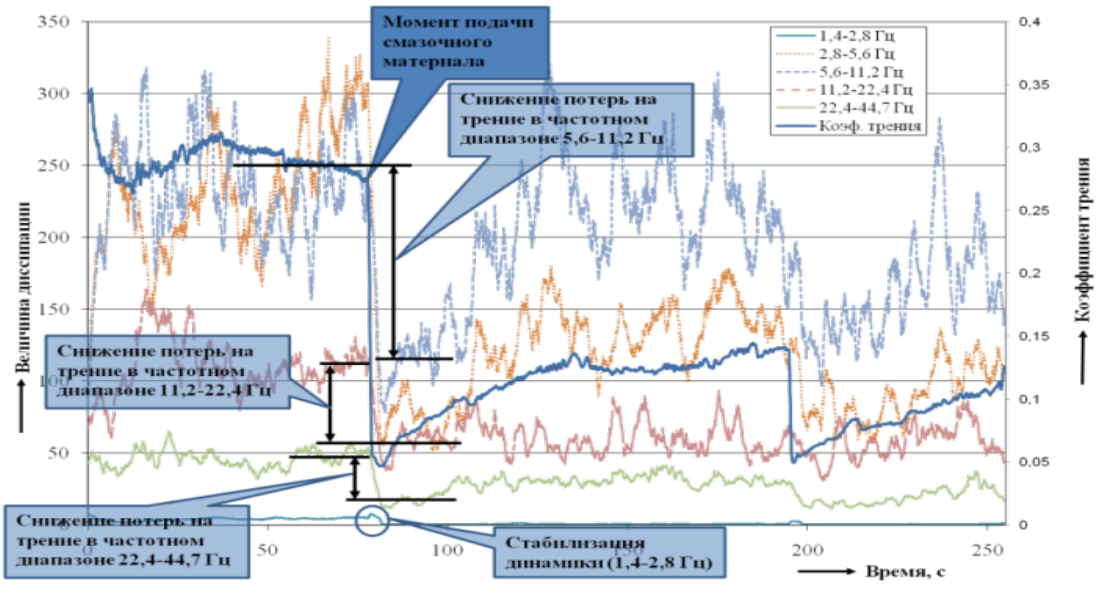
С целью решения задачи увеличения ресурса колесных пар, учитывая особенности условий эксплуатации подвижного состава, автором предложена схема контроля состояния контакта «колесо – рельс», а именно наличия «третьего тела» (модификатора, смазочного материала) для улучшения условий взаимодействия колес с рельсами.

На основе исследований была выявлена зависимость динамики системы и максимальных поверхностных температур от наличия «третьего тела» в контакте колеса с рельсом (рис. 3).

Испытания на модели показали, что в начальный момент времени по графику взаимной корреляционной функции (см. рис. 3, *а*) преобладает термическое схватывание поверхностей. Далее на протяжении эксперимента преобладает атермическое схватывание.

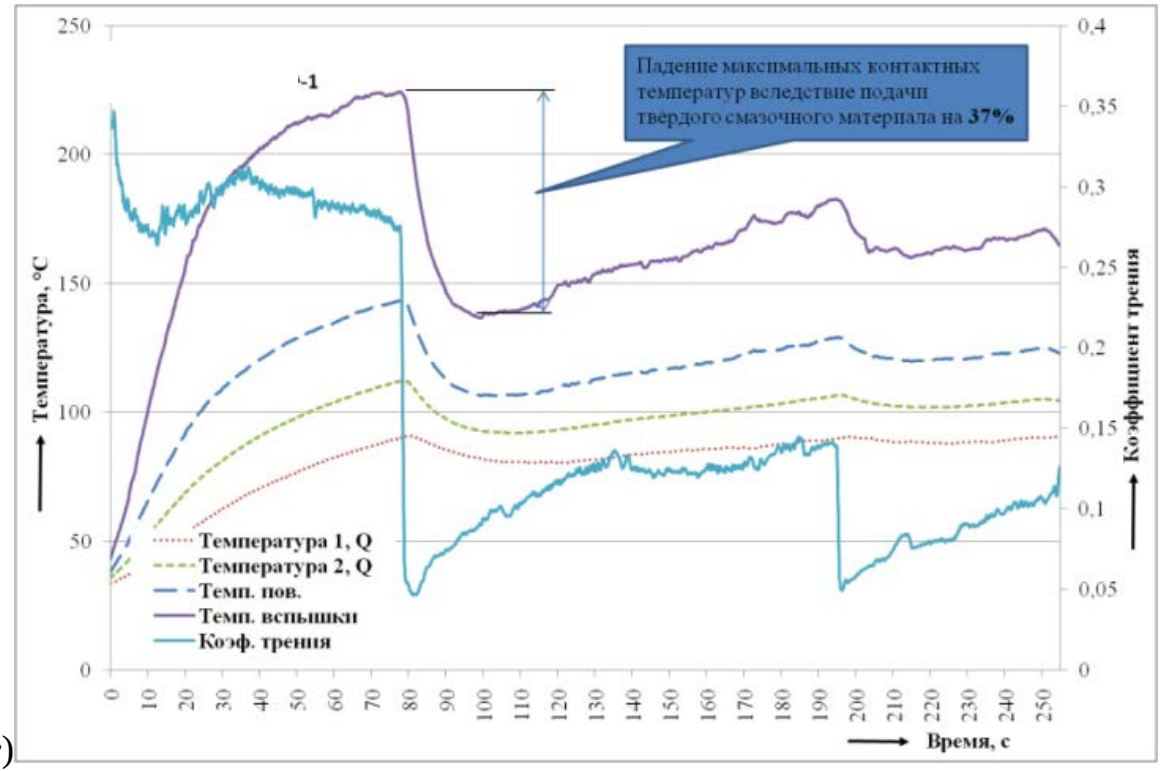


а)



б)

Рис. 3. Результаты испытаний и анализ параметров системы *(начало)*



в)

Рис. 3. Результаты испытаний и анализ параметров системы *(окончание)*

При анализе диссипации системы (см. рис. 3, *б*) при подаче модификатора (смазочного материала) снижается математическое ожидание интегральных оценок потерь на трение в пяти анализируемых октавных диапазонах частот. Наиболее характерными диапазонами являются 5,6–11,2 Гц и 11,2–22,4 Гц, в которых снижение интегральных оценок потерь на трение наиболее выражено.

При анализе температурных параметров (см. рис. 3, *в*) видно, что при росте коэффициента трения увеличиваются регистрируемые значения контактных температур. В результате реализации термического режима работы системы с последующим переходом к атермическому режиму контактные температуры достигают своего максимального значения. В этот момент времени в зону фрикционного взаимодействия вводится смазочный материал. Коэффициент трения падает с величины 0,27 до 0,05, т. е. на 81 %. Температура падает на 37 %. Следовательно, наличие модификатора (смазочного материала) в контакте колеса с рельсом приводит к снижению контактной температуры, поверхностных температур как колеса, так и рельса, улучшает условия их динамического взаимодействия, предотвращает образование термомеханических повреждений в контактной области.

Анализ по амплитудно-частотным характеристикам регистрируемых величин интегральных оценок системы «колесо – рельс» позволяет установить взаимосвязь между величиной диссипации (т. е. косвенной оценкой потерь энергии на трение) и температурой в контакте, позволяя объективно идентифицировать наличие или отсутствие смазочного материала, оценивать

динамические характеристики контакта колеса с рельсом, оценивать ресурсные характеристики применяемых модификаторов (смазочных материалов).

Благодаря разработке метода идентификации поверхностных температур контакта «колесо – рельс» открывается перспектива развития следующих направлений:

– посредством датчиков, установленных на рельсах сортировочных горок или в кривых малого радиуса, съем амплитудно-частотных характеристик с рельсов и контроль (прогнозирование) возможности возникновения термоповреждений колесных пар подвижного состава и рельсов;

– контроль и прогнозирование начала боксования колес, контроль тяговых характеристик, прогнозирование их изменения, создание условий для их максимальной реализации;

– реализация способа управляемого движения тележек локомотива в кривых за счет изменения скоростей скольжения колес колесных пар тягового подвижного состава с помощью автономного управления приводом подачи модификаторов трения.

Пятая глава посвящена эксплуатационным испытаниям разработанных технических решений.

Эксплуатационные испытания опытного рельсосмазывающего поезда приписки ТЧ-6 Батайск, оборудованного конструкциями АГРС, проводились на участке «Батайск – Таганрог 1». Целью эксплуатационных испытаний являлись качественная и количественная оценка эффективности применения рельсосмазывающего поезда в условиях эксплуатации, выявление работоспособности разработанной системы гребнерельсосмазывания, определение удельного расхода смазочного материала (стержней РАПС) в зависимости от давления в пневмосистеме, определение количества смазочного материала, перенесенного на 1 км пути, в зависимости от реализуемых режимов работы рельсосмазывающего поезда, а также определение количества приводов подачи для размещения их на локомотиве.

На основании данных, полученных в ходе испытаний, составлен график зависимости удельного расхода смазочного материала от давления в пневмосистеме, представленный на рисунке 4.

График показывает работоспособность системы в широком диапазоне значений давления в пневмосистеме, т. е. обеспечение условий управляемости привода, в частности обеспечение управляемого дозирования смазочного материала. В ходе испытаний была решена проблема преодоления момента трения покоя в пневмоцилиндрах при малых значениях давления. В статическом положении момент трения покоя в пневмоцилиндре преодолевается давлением в пневмосистеме около 0,04–0,06 МПа. Эксплуатационные испытания подтвердили работоспособность системы в динамике. Наличие широкого спектра частот колебаний конструкции АГРС при движении электровоза со скоростью 30 км/ч и более позволило преодолеть силу трения покоя в пневмоцилиндрах давлением в пневмосистеме 0,005–0,01 МПа, допустимым по условиям эксплуатации.

Рис. 4. График зависимости удельного расхода смазочного материала от давления в пневмосистеме

В ходе эксплуатационных испытаний была произведена качественная и количественная оценка эффективности применения оборудования АГРС. Система АГРС показала свою работоспособность в условиях эксплуатации при различных режимах. Был сформулирован вывод о необходимости расположения привода АГРС на каждом из колес электровоза для максимальной эффективности работы системы в режимах гребнесмазывания и гребнерельсосмазывания.

В рамках эксплуатационных испытаний устройства для модифицирования тяговых поверхностей колес локомотива (рис. 5) подтверждена эффективность применения данной системы, в частности для исключения вероятности попадания антифрикционного смазочного материала на тяговую поверхность. Тягово-сцепные характеристики были улучшены на 20 %, коэффициент сцепления без применения песка составил 0,33. Сформулирован вывод о необходимости расположения конструкций устройства для модифицирования тяговых поверхностей на каждом из колес локомотива с целью обеспечения максимальной эффективности работы системы.

Рис. 5. Устройство для модифицирования тяговых поверхностей колес

Эксплуатационные испытания модернизированной противоползунной системы (ППС) с осуществленной оптимизацией упруго-диссипативных связей проводились на ст. Тихорецкая Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». В ходе эксплуатационных испытаний была произведена качественная и количественная оценка эффективности применения противоползунной системы (ППС), исключающей термомеханические повреждения колес и рельсов, подтвердились ее высокие эксплуатационные и технико-экономические показатели. Было обеспечено стопроцентное исключение образования односторонних «ползунов» за счет проворота подбашмаченной колесной пары при прохождении противоползунной системы на угол 8º и более. Ресурсные характеристики самой противоползунной системы были увеличены в 50 раз. Система показала свою надежность и эффективность в условиях эксплуатации при различных режимах и погодных условиях.

Результаты испытаний представлены на рисунке 6. Для исключения явления термоповреждения колес при торможении проворот колеса на тормозном башмаке при прохождении противоползунной системы должен быть более 8º. В ходе испытаний этот угол проворота достигал величины 90º, то есть был обеспечен 11-кратный запас эффективности ППС.

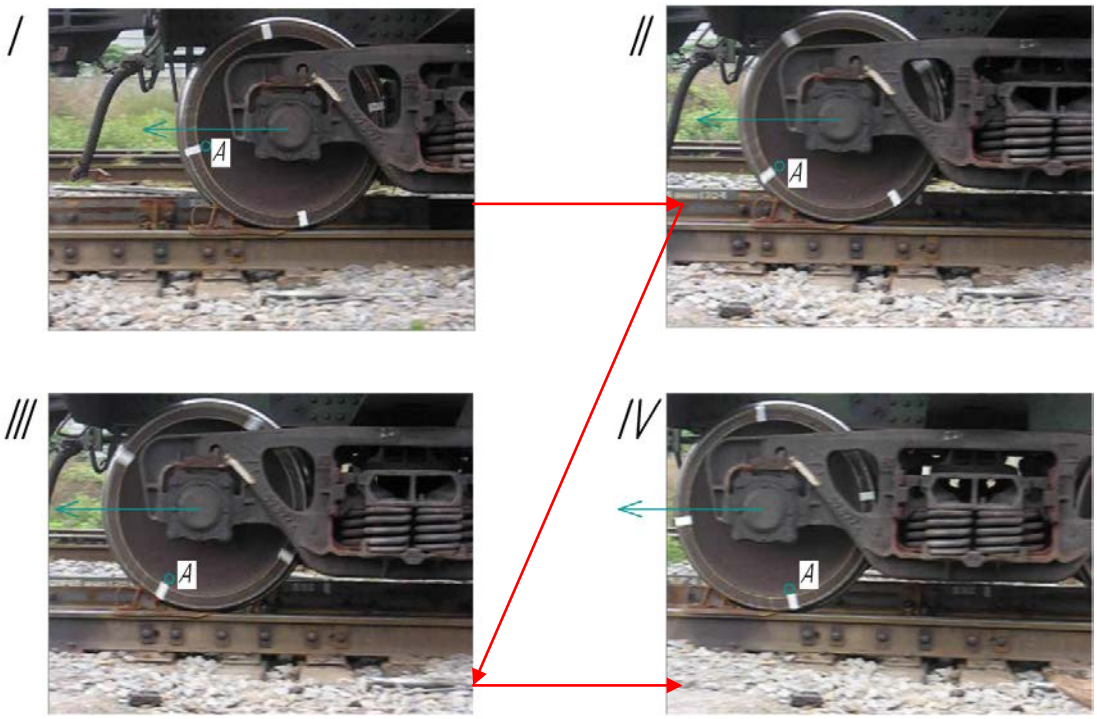


Рис. 6. Результаты эксплуатационных испытаний ППС

На основе накопленного опыта улучшения условий взаимодействия колеса с рельсом учеными ФГБОУ ВО РГУПС и специалистами Северо-Кавказской железной дороги разработан комплекс мероприятий по увеличению ресурса системы «колесо – рельс», который заключается в:

– применении многофазового высокоэффективного твердосмазочного материала РАПС, предназначенного для работы в открытых, тяжелонагруженных (до 3,5 ГПа) узлах трения, обеспечивающего работоспособность в температурных диапазонах от –50 до +130 ºС, имеющего высокий ресурс разового нанесения, исключающего в рабочей фазе налипание на смазываемую поверхность частиц абразива (песка) и не оказывающего вредного воздействия на окружающую среду;

– использовании для лубрикации контактно-ротапринтного способа нанесения смазочного материала, который позволяет исключить замасливание балласта, наносить смазочный материал на поверхности трения при любых скоростях движения (рабочим органом в технологии лубрикации ГРС-РАПС является гребень колеса подвижного состава);

– лубрикации горловин станций и узлов маневровыми локомотивами, оборудованными системами ГРС, а также главных путей за счет применения системы «сквозной» лубрикации на любых плечах оборота (до 5000 км и более);

– повышении эффективности и безопасности движения железнодорожных поездов за счет применения метода идентификации поверхностных температур контакта «колесо – рельс», обеспечивающего динамический мониторинг наличия «третьего тела» в контакте колеса с рельсом и управление процессом его нанесения;

– модифицировании поверхности катания колеса фрикционными модификаторами трения, что позволит гарантировать устойчивое значение коэффициента сцепления колес локомотива с рельсом не менее 0,3 без применения песка, исключить попадание антифрикционного смазочного материала лубрикатора на тяговую поверхность;

– реализации способа управляемого движения тележек локомотива в кривых за счет автономного управления приводом подачи модификаторов трения;

– применении системы АГРС с программным комплексом и бункером повышенной емкости для обеспечения эффективной работы систем гребнерельсосмазывания между техническими обслуживаниями без дозаправки;

– оптимизации затрат на техническое обслуживание и ремонт участков пути в кривых радиусом менее 350 м за счет унификации элементов верхнего строения пути;

– применении противоползунной системы (ППС) для исключения образования «ползунов» на немеханизированных сортировочных горках.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1 В процессе ранжирования на базе анализа априорной информации, а также результатов экспертной оценки выявлено, что основными эксплуатационными параметрами, определяющими ресурс подсистемы «колесо

– рельс», являются четыре фактора: 1) наличие, тип и способ нанесения модификатора в контакте «колесо – рельс»; 2) образование термомеханических дефектов поверхностей катания колес – «ползунов»; 3) отношение твердостей материалов рабочих поверхностей колесных пар и рельсов; 4) наличие эффективного динамического мониторинга системы «подвижной состав – путь», в частности подсистемы «колесо – рельс».

2 Определено, что метод физико-математического моделирования является наиболее рациональным путем решения поставленных задач исследования системы «подвижной состав – путь», так как ресурс колесных пар и сроки службы рельсов сложно и нелинейно зависят от динамических процессов, протекающих на рабочих поверхностях системы «колесо – рельс», с влиянием на них более 20 факторов.

3 Для обеспечения эффективной эксплуатации системы «подвижной состав – путь» необходим ее динамический мониторинг. Анализ существующих методов контроля, диагностики и прогнозирования выходных параметров фрикционных мобильных систем позволил сделать вывод о том, что методы, базирующиеся на фундаментальных основах теории автоматического регулирования, амплитудно-фазочастотном анализе и синтезе фрикционных систем, являются наиболее перспективными и эффективными. Разработан способ динамического мониторинга фрикционных мобильных систем, на базе которого предложена схема контроля состояния контакта колеса и рельса.

4 С целью увеличения ресурсных характеристик системы «колесо – рельс» целесообразно применение контактно-ротапринтного способа гребнесмазывания и гребнерельсосмазывания, использующего в качестве рабочего органа гребни колес рейсового подвижного состава. Коэффициент перехода смазочного материала РАПС с гребня колеса на боковую поверхность головки рельса в месте контактирования составляет 80–90 %.

5 Для обеспечения работоспособности и надежности разработанного автоматизированного гребнерельсосмазывателя АГРС выполнена модельная оптимизация его пневмосистемы. Оптимизация динамических характеристик системы на базе методов математического моделирования, модельного и натурного экспериментов позволила снизить «порог нечувствительности» системы с 0,04–0,06 МПа до 0,005–0,01 МПа, или на 85 %, до уровня рабочего давления.

6 Для повышения величины и стабильности силы тяги локомотивов целесообразно применение фрикционных модификаторов трения, позволяющих повысить тягово-сцепные характеристики на 20 % и обеспечить устойчивое значение коэффициента сцепления колес с рельсом на уровне 0,3 и более без применения песка.

7 С целью увеличения ресурса колесных пар и рельсов разработан способ управляемого движения тележек локомотива при движении в кривых за счет автономного управления приводом подачи брикетов фрикционного модификатора трения. Перераспределение продольных сил скольжения по

колесам обеспечивает снижение боковых усилий колесных пар на путь на 5–10 %.

8 Разработаны технология и технологическое оборудование для сохранения ресурса колесных пар вагонов за счет гарантированного исключения образования термомеханических дефектов (односторонних «ползунов») поверхностей катания колес вагонов на немеханизированных сортировочных горках. Противоползунная система (ППС) показала свою надежность и эффективность в условиях эксплуатации при различных режимах и погодных условиях. Было обеспечено стопроцентное исключение образования односторонних «ползунов» за счет проворота подбашмаченной колесной пары при прохождении противоползунной системы на угол 8º и более. Ресурсные характеристики самой противоползунной системы были увеличены в 50 раз.

9 Для эффективного решения задачи увеличения ресурса колесных пар подвижного состава и срока службы рельсов разработан комплекс мероприятий по увеличению ресурса системы «колесо – рельс» СКЖД – РГУПС.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ
опубликованы в следующих работах:

Публикации в центральных изданиях, включенных в перечень периодических изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1 Разработка инновационной технологии лубрикации в системе «колесо – рельс» на базе наноматериалов / Э.Э. Фейзов [и др.] // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011. – № 10. – С. 39–41.

2 **Фейзов, Э.Э.** Повышение эффективности лубрикации в системе «подвижной состав – путь» / Э.Э. Фейзов, А.Л. Озябкин, П.В. Харламов // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 12. – С. 40–44.

3 Улучшение условий функционирования фрикционной системы «колесо – рельс». Разработка ГОСТа для определения трибологических характеристик твердых смазочных материалов / Э.Э. Фейзов [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 4(3). – С. 753–758.

4 Разработка ГОСТа для проведения входного контроля твердых смазочных материалов, используемых в узлах трения в системе «колесо-рельс» / Э.Э. Фейзов [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 1. – С. 74–77.

5 Государственный стандарт для твердых смазочных материалов / Э.Э. Фейзов [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 9. – С. 62–63.

6 Динамический мониторинг и оптимизация нелинейных антифрикционных систем / Э.Э. Фейзов, В.В. Шаповалов, А.Л. Озябкин, А.М. Ананко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2014. – № 5(180). – С. 51–57.

7 Физико-математическое моделирование нелинейных фрикционных систем / Э.Э. Фейзов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2014. – № 6(181). – С. 77–82.

8 Устранение триботермоповреждений колес подвижного состава / Э.Э. Фейзов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2015. – № 4(185). – С. 65–72.

Публикации в других изданиях:

9 **Фейзов, Э.Э.** Повышение величины и стабильности тягового усилия локомотивов / Э.Э. Фейзов, Т.Л. Саямова, Ш.В. Кикичев // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2008» : Ч. 1 ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2008. – 351 с. : С. 287–288.

10 **Фейзов, Э.Э.** Разработка конструкции привода подачи модификаторов трения / Э.Э. Фейзов, Т.Л. Саямова, О.И. Мелешко // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2008» : Ч. 2 ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2008. – 309 с. : С. 205.

11 **Фейзов, Э.Э.** Разработка привода подачи модификатора трения / Э.Э. Фейзов, В.В. Шаповалов // Тез. докл. 67-й студ. науч.-практ. конф. : сб. – Ростов н/Д : РГУПС, 2008. – 295 с. : С. 84–85.

12 **Фейзов, Э.Э.** Современная концепция гребнерельсосмазывания / Э.Э. Фейзов, А.П. Павлов // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2009» : Ч. 1 ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2009. – 470 с. : С. 380–382.

13 **Фейзов, Э.Э.** Разработка привода подачи модификаторов трения / Э.Э. Фейзов, В.В. Шаповалов // Тез. докл. 68-й студ. науч.-практ. конф. : сб. – Ростов н/Д : РГУПС, 2009. – 351 с. : С. 102–103.

14 **Фейзов, Э.Э.** Автоматизация процесса лубрикации контакта колесо-рельс / Э.Э. Фейзов, А.П. Павлов // Инновационные технологии в машиностроении : [сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. в рамках промышленного конгресса юга России (2–4 сент. 2009 г., Ростов-на-Дону)] : «ВертолЭкспо», ИУИАП. – Ростов н/Д, 2009. – 374 с. : С.72–78.

15 Трибоспектральная идентификация критических процессов трения / Э.Э. Фейзов [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов : тр. 9-й Междунар. науч. шк., посвященной памяти В.П. Булатова. – СПб., 2009. – С. 174–180.

16 **Фейзов, Э.Э.** Разработка профессиональной компетенции выпускника: научно-исследовательская деятельность (ПК-6) / Э.Э. Фейзов, В.А. Фейзова // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2010» : Ч. 1 ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2010. – 332 с. : С. 91–92.

17 **Фейзов, Э.Э.** Энергосберегающие средства и схемы для тягового подвижного состава / Э.Э. Фейзов // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2011» : Ч. 2 ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2011 – 450 с. : С. 67–68.

18 Повышение эффективности системы «путь – подвижной состав» (начало) / Э.Э. Фейзов [и др.] // Локомотив. – 2011. – № 5. – С. 40–42.

19 Повышение эффективности системы «путь – подвижной состав» (окончание) / Э.Э. Фейзов [и др.] // Локомотив. – 2011. – № 6. – С. 40–41.

20 Регулирование процесса трения трибосистемы «колесо тягового подвижного состава – железнодорожный рельс» / Э.Э. Фейзов, И.В. Колесников, А.М. Лубягов, Д.С. Мантуров // Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике» (Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ), 17–19 окт. 2011 г.). – Новочеркасск : ЛИК, 2011. – С. 215–218.

21 **Фейзов, Э.Э.** Антифрикционные смазочные материалы. Оптимизация состава и улучшение эксплуатационных характеристик / Э.Э. Фейзов, Т.Л. Саямова, В.В. Пронин // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2012» : Ч. 2 ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2012. – 385 с. : С. 96–97.

22 **Фейзов, Э.Э.** Оптимизация триботехнических характеристик фрикционных модификаторов трения / Э.Э. Фейзов, В.В. Шаповалов, А.Н. Васильев // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2012» : Ч. 2 ; Рост. гос. ун-т. путей сообщения. – Ростов н/Д, 2012. – 385 с. : С. 101–102.

23 **Фейзов, Э.Э.** Разработка мероприятий по увеличению ресурса колесных пар подвижного состава / Э.Э. Фейзов, А.М. Ананко // Югспецтехника. – 2012. – № 51. – С. 72–73.

24 Разработка и модельная оптимизация антифрикционных покрытий для открытых узлов трения / Э.Э. Фейзов [и др.] // Тез. докл. III Междунар. науч.-практ. семинара «Трибология и проблемы МЧС РФ». – Иваново : ИвГУ, 2012. – С. 13–14.

25 Трибоспектральная идентификация триботехнических характеристик открытых узлов трения / Э.Э. Фейзов [и др.] // Тез. докл. III Междунар. науч.-практ. семинара «Трибология и проблемы МЧС РФ». – Иваново : ИвГУ, 2012. – С. 24–25.

26 Dynamic monitoring of frictional system / E.E. Feyzov [c ot.] // IV International Scientific Conference «Transport Problems 2012» (Poland, Katowice) : Silesian University of Technology Faculty of Transport, Krasińskiego st. 8, room 112A. – P. 480–492.

27 Амплитудо-фазочастотный анализ процессов трения и изнашивания / Э.Э. Фейзов [и др.] // Сб. науч. тр. XII Междунар. Конф. «Трибология и надёжность». – СПб. : ФГБОУ ВПО Балтийский гос. техн. ун-т им. Д.Ф. Устинова, 2012. – С. 207–217.

28 **Фейзов, Э.Э.** Оптимизация технологии рельсосмазывания на базе метода физико-математического моделирования / Э.Э. Фейзов // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2012» : Ч. 2 ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2012. – 385 с. : С. 252–254.

29 **Фейзов, Э.Э.** Оценка ресурсных характеристик смазочных материалов на базе методов термотрибодинамики / Э.Э. Фейзов // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2012» : Ч. 2 ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2012. – 385 с. : С. 255–257.

30 **Фейзов, Э.Э.** Повышение ресурса колесных пар локомотивов на базе трибологического материаловедения / Э.Э. Фейзов, А.М. Лубягов // VI Междунар. шк. «Физическое материаловедение» (Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ), 15-19 окт. 2013 г.). – Новочеркасск : ЮРГТУ(НПИ), 2013. – С. 201–207.

31 **Фейзов, Э.Э.** Физико-математическое моделирование системы «колесо – рельс» в режиме трения-скольжения / Э.Э. Фейзов // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Транспорт-2014» : Ч. 1 ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2014. – 498 с. : С. 331–332.

32 **Фейзов, Э.Э.** Экспериментальная триботермодинамика / Э.Э. Фейзов // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Транспорт-2015» : Ч. 4 ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2015. – 485 с. : С. 70–71.

33 Ресурсосбережение и импортозамещение на базе теоретических основ трибологии / Э.Э. Фейзов [и др.] // Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике» (Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова, 19 нояб. 2014 г.). – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2015. – 136 с. : С. 54–62.

Патенты:

34 **Пат. 2376184 Российская Федерация, МПК B61K3/02, C10N50/00.** Система модифицирования поверхностей трения / В.В. Шаповалов, Э.Э. Фейзов, Е.С. Окулова, В.А. Могилевский [и др.]. – № 2376184 ; заявл. 16.04.2008 ; опубл. 20.12.2009, Бюл. № 35.

35 **Пат. 2479455 Российская Федерация, МПК B61K3/02.** Способ рельсосмазывания / В.В. Шаповалов, К.И. Щепановский, Э.Э. Фейзов, А.С. Старунов [и др.]. – № 2479455 ; заявл. 13.04.2011 ; опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11.

36 **Пат. 2517946 Российская Федерация, МПК G01N3/56.** Способ динамического мониторинга фрикционных мобильных систем / В.В. Шаповалов, А.Л. Озябкин, Э.Э. Фейзов, П.В. Харламов [и др.]. – № 2517946 ; заявл. 05.04.2012 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.

37 **Пат. 2522484 Российская Федерация, МПК B61K7/00.** Система противоползунная / В.В. Шаповалов, А.М. Лубягов, В.В. Костюк, Э.Э. Фейзов [и др.]. – № 2522484 ; заявл. 20.03.2012 ; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20.

38 **Пат. 2525499 Российская Федерация, МПК B61K3/02.** Способ нанесения смазочного материала на открытый узел трения / В.В. Шаповалов, П.Н. Щербак, А.Л. Озябкин, Э.Э. Фейзов [и др.]. – № 2525499 ; заявл. 19.12.2011; опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23.

Личный вклад соискателя. Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [17, 28, 29, 31, 32] подготовлены единолично. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве: [1–5, 9–16, 18–27, 30, 33] – постановка задач исследований, разработка моделей и алгоритмов реализации; [6–8] – проведение расчетов и обобщение полученных результатов; [34–38] – идеи технических решений.

Фейзов Эмин Эльдарович

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 1,4.
Тираж 100 экз. Заказ № _____.

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2