

ОТЗЫВ

официального оппонента Бутенко Виктора Ивановича на диссертационную работу **Харламова Павла Викторовича**

«Повышение эффективности системы «путь – подвижной состав» термометаллоплакированием фрикционных поверхностей колеса и рельса», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.5.3 – «Трение и износ в машинах» и 2.9.3 (05.22.07) - «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»

Представленная на отзыв диссертационная работа включает в себя введение, пять глав, заключение, библиографический список из 232 наименований, 7 приложений, 51 таблицу и 305 рисунков. Основное содержание изложено на 344 страницах текста, общий объем работы составляет 468 страниц.

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Рассматриваемая работа посвящена исследованию вопросов взаимодействия колес подвижного состава с рельсами. В основе подхода, использованного автором, лежат методы физико-математического моделирования, идентификации процессов трения, а также исследования трибологических поверхностей на макро- и микроуровнях. Такой подход позволил получить отображение динамических свойств исследуемых объектов в характеристики, доступные измерению. Использование динамического мониторинга позволит прогнозировать критические состояния взаимодействия колеса с рельсом, установить основные закономерности управления коэффициентом сцепления.

Для решения задач стабильности фрикционных связей колес и рельсов тягового подвижного состава развиваются технические средства активации фрикционных связей методами модификации активных объемов фрикционного взаимодействия. Для эффективной защиты рельсов и колесных пар локомотивов и следующих за ними вагонов в последнее время стали применять твердые смазочные покрытия и системы автоматизированной подачи их в зону трения. В связи с этим проблема разработки методов и материалов нанесения износостойких модифицированных покрытий на металлические поверхности остается достаточно востребованным научным поиском с учетом сложной динамики взаимодействия колесных пар с рельсами, нелинейных процессов на трибоконтате и достоверной оперативной информации о техническом состоянии трибосопряжения. Это во многом определяет эффективность, безопасность, надежность и ресурс подвижного состава. Следовательно, можно сделать вывод об актуальности рассматриваемой работы.

Поставленная автором цель работы и задачи позволяют отнести рассматриваемую работу к специальностям 2.5.3 – «Трение и износ в машинах» и 2.9.3 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

На основании вышесказанного считаю, что диссертация Харламова П.В. посвящена решению важных теоретических и практических задач, имеющих важное народнохозяйственное значение, направлена на повышение надёжности и безопасности рассматриваемых фрикционных систем железнодорожного транспорта, что определяет её актуальность.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертационной работе рассмотрены вопросы научного обоснования теоретических и экспериментальных исследований на макро- и микроскопическом уровнях по влиянию металлоплакирования на процессы трения, изнашивания и механизмы самоорганизации за счет структурной приспособляемости с дальнейшей разработкой на этой основе методов повышения энергоэффективности тягового подвижного состава за счет управления процессами трения, протекающими в контакте «колесо-рельс» с учетом информации о его динамике.

Исследование, анализ и сопоставление результатов расчета математической модели «путь – подвижной состав» и частотно-временной модели с помощью критериев Фишера и Стьюдента позволили установить, что применение линейной теории автоматизированного управления, в частности прямых и косвенных критериев качества, к методу трибоспектральной идентификации нелинейных процессов трения возможно, так как рассматриваются малые вариации нелинейной модели.

Установлены закономерности, позволившие обоснованно уточнить выражение для расчета безразмерного коэффициента демпфирования фрикционной механической системы, что позволяет во время наблюдения за ней идентифицировать в октавных диапазонах частот тренды изменения упруго-диссипативных свойств фрикционного взаимодействия поверхностей.

Существенным достоинством диссертационной работы является применение современных методов научных исследований с использованием квантово-химических расчетов, моделирования и применения широкого спектра современного научного лабораторного и экспериментального оборудования, в том числе системы анализа поверхности трения с помощью рентгеновской и оже-электронной спектроскопии.

Методом физико-математического моделирования соискателем определены условия динамического подобия реализации продольных и поперечных сил крипа, что позволило разработать критерии подобия тяговой мощности и контактного давления, использование которых, в свою очередь, дало возможность перенести результаты модельных исследований на натуральный объект с эквивалентными фрикционными характеристиками. При этом

обосновано применение металлоплакирующих материалов для формирования равновесной шероховатости тяговой поверхности колеса локомотива и снижения его износа в процессе работы.

В диссертационной работе определена совокупность параметров для организации динамического мониторинга фрикционных систем с учетом реализации многообразия физико-химических и упруго-диссипативных характеристик трибостистем.

Практическая применимость теоретических разработок автора подтверждается обоснованностью теоретических предпосылок и удовлетворительным совпадением результатов экспериментальных исследований с эксплуатационными наблюдениями.

3. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Для достижения поставленной цели и решения обозначенных в диссертации задач применялись подходы классической теории колебаний, математической статистики и планирования эксперимента, физико-математического n-вариантного моделирования, трибоспектральной идентификации процессов трения, частотных передаточных функций, динамического мониторинга трибологических процессов, квантово-химических расчетов с применением системы анализа поверхности SPECS для рентгеноэлектронной и оже-электронной спектроскопии.

Применение сертифицированного измерительного оборудования и программного обеспечения в качестве инструментальных средств позволило обеспечить достоверность проведенных исследований. При выполнении экспериментальных исследований использовались: машина трения типа Амслер (ИИ-5018), система анализа поверхности, сканирующий (растровый) электронный микроскоп с приставкой энергодисперсионного анализатора, уникальный лабораторный комплекс «путь-подвижной состав» для физического моделирования взаимодействия подвижного состава и пути, система анализа поверхности трения с помощью рентгеновской и оже-электронной спектроскопии. Экспериментальные исследования на лабораторных, макетных и натуральных образцах проводились для подтверждения корректности теоретических результатов.

Достоверность полученных в диссертации результатов исследования подтверждается корректностью разработанных моделей, использованием положений фундаментальных наук, сходимостью результатов теоретических исследований с данными эксплуатации ряда фрикционных подсистем железнодорожного транспорта, апробацией результатов на полигоне Северо-Кавказской железной дороги - филиале ОАО «Российские железные дороги». Достоверность новизны технических решений подтверждается полученными патентами Российской Федерации в областях испытаний узлов трения, динамического мониторинга мобильных нелинейных технических систем, термоплакирования стальных поверхностей трения.

4. Научная новизна результатов работы

Научная новизна работы заключается в разработке научного направления в области системного анализа и синтеза функционально связанных физико-химических и упруго-диссипативных характеристик трибодинамических процессов на микро- и макроуровнях, протекающих в динамически нагруженном фрикционном контакте на примере взаимодействия колеса тягового подвижного состава с рельсом при реализации термометаллоплакирования стальных поверхностей с целью управления свойствами фрикционной механической системы.

К наиболее значимым научным результатам относятся следующие положения, представленные в диссертационной работе:

1. На основе теоретических положений трибоспектральной идентификации процессов трения и динамического мониторинга изменений упруго-диссипативных характеристик обосновано математическое выражение безразмерного коэффициента демпфирования, что позволяет во время наблюдения идентифицировать в октавных диапазонах частот тренды изменения упругих, инерционных и диссипативных свойств фрикционного взаимодействия рабочих поверхностей узлов трения.

2. По результатам анализа трендов изменения упруго-диссипативных характеристик фрикционного взаимодействия предложена методология идентификации трибологических процессов во фрикционном контакте колеса тягового подвижного состава с рельсом, что позволяет контролировать выходные трибохарактеристики и прогнозировать аномальные явления, например, срыв сцепления.

3. На базе анализа трендов изменения упруго-диссипативных характеристик фрикционного взаимодействия колеса тягового подвижного состава с рельсом описана последовательность формирования функциональных вторичных структур на рабочих поверхностях бандажа колес тягового подвижного состава способом термометаллоплакирования.

4. Используя принципы физико-химического подхода и квантово-химического анализа, изучен механизм и кинетика образования вторичных структур фрикционного переноса на поверхности контртела, что позволило обосновать целесообразность применения металлоплакирующих материалов для модифицирования фрикционных поверхностей колес тягового подвижного состава.

5. С помощью метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и системы анализа поверхности SPECS показано, что во вторичных структурах помимо зарегистрированных $C 1s$, $O 1s$ и $Al 2p$ спектров происходит образование окисленных атомов железа и Al_2O_3 . При этом содержание железа на исходной поверхности трения и на модифицированной поверхности после ионного травления отличается в десятки раз, что указывает на то, что пленка из Al_2O_3 снижает диффузию кислорода из внешней среды в поверхность катания колеса.

6. На основе теоретических и лабораторных исследований разработан способ металлоплакирования и метод динамического мониторинга процессов сцепления колесных пар подвижного состава в режиме тяги, защищенных патентами Российской Федерации.

5. Практическая значимость работы

Практическая значимость результатов диссертации заключается в развитии и практическом использовании методов динамического мониторинга фрикционных систем, направленных на решение задач их диагностики, неразрушающего контроля, краткосрочного или долгосрочного прогнозирования изменения их состояний, что повышает безопасность эксплуатации подвижного состава.

К наиболее значимым практическим результатам, оказывающим существенное влияние на развитие современного железнодорожного транспорта, можно отнести следующие положения, вытекающие из диссертационной работы:

1. Раскрытие механизма фрикционного переноса материалов и формирования вторичных покрытий с анизотропными свойствами современными методами динамического мониторинга и трибоспектральной идентификации процессов трения, а также акустической эмиссии обеспечит создание информационной базы для разработки новых высокоэффективных модификаторов трения. Исключение термических повреждений поверхностей трения с использованием октавного анализа энергетических потерь во фрикционном контакте обеспечит управление нагрузочно-скоростными условиями эксплуатации различных фрикционных подсистем, и, следовательно, повысить энергоэффективность тягового подвижного состава.

2. Для решения задач динамического мониторинга фрикционных систем (непрерывного сбора информации о динамических параметрах), а также краткосрочного или долгосрочного прогнозирования динамического состояния механической системы (в частности, фрикционного контакта) и управления его динамическими свойствами разработан способ оценки состояния трибосистемы по анализу коэффициентов корреляции и конкордации, однозначно характеризующих многообразие состояний механической системы.

3. Обосновано применение металлоплакирующих материалов для формирования равновесной шероховатости тяговой поверхности колеса локомотива, стабилизации сил продольного и поперечного Крива и тяговой мощности в целом.

4. Разработана технология повышения силы тяги локомотива и сокращения потерь энергии. При этом в качестве третьего тела, вносимого в контакт колеса локомотива с рельсом, предложено использовать материал, обладающий анизотропными свойствами.

Инновации по исследованию механизма образования вторичных структур, а также методы динамического мониторинга мобильных трибосистем вошли в состав учебников для ряда специальностей и направлений подготовки.

6. Полнота публикаций

Результаты диссертационного исследования достаточно полно представлены в публикациях соискателя. Основные материалы диссертации опубликованы в 110 печатных работах, в том числе: 26 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 10 – в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science, опубликованы 3 монографии, 3 учебника, получено 8 патентов Российской Федерации на изобретения.

В работах соискателя выполнены все требования к публикациям основных научных результатов диссертации, предусмотренные Положением о присуждении ученых степеней (п.п.11;13;14).

7. Соответствие автореферата диссертации

Содержание диссертации достаточно полно изложено в автореферате и в опубликованных работах, личный вклад автора подтвержден большим числом опубликованных работ; в диссертации корректно даны ссылки на авторов, занимающихся проблемами железнодорожного транспорта, и источники заимствования.

8. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа Харламова Павла Викторовича «Повышение эффективности системы «путь-подвижной состав» термометаллоплакированием фрикционных поверхностей колеса и рельса» соответствует паспортам специальностей, а именно следующим пунктам областей научных исследований:

по паспорту специальности 2.5.3 (05.02.04) - «Трение и износ в машинах» следующим пунктам паспорта специальности:

-п. 7 - Триботехнические свойства материалов, покрытий и модифицированных поверхностных слоев;

-п. 10 - Физическое и математическое моделирование трения и изнашивания.

По паспорту специальности 2.9.3 (05.22.07) - «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» следующим пунктам паспорта специальности:

-п. 10 - Взаимодействие подвижного состава и пути. Системы, средства и материалы, снижающие износ элементов пути и ходовых частей подвижного состава и повышающие безопасность движения.

9. Замечания по диссертации

1. В научном плане представленная диссертационная работа выглядела бы ещё более весомой, если бы в ней в первых главах была выдвинута и сформулирована рабочая гипотеза, связавшая вопросы механики движения подвижного состава в криволинейном участке пути (силы крипа), с особенностями механизма переноса металлоплакирующего модификатора в зоне

трибоконтакта (адгезией и когезией, образованием вторичных структур и т.д.), что, на мой взгляд, более значимо подтвердило научную новизну выполненной работы и предопределило её структурирование.

2. Моделирование движения колесных пар в криволинейных участках пути различного радиуса кривизны, выполненное на лабораторном стенде ИИ-5018, вряд ли можно считать корректным из-за недостаточно полного учёта эксплуатационных факторов.

3. В диссертационной работе на стр. 45 представлена математическая модель тележки локомотива в криволинейном участке пути. Непонятно, как учтена в этой модели ее связь с кузовом и второй тележкой.

4. На стр. 72-73 диссертации для проверки адекватности полученной математической модели нелинейной системы применяется критерий Фишера. Известно, что этот критерий применяется для линейных моделей, подчиняющихся нормальному закону распределения. В диссертации нет пояснения насколько обосновано такое решение.

5. В разделе 3.3 диссертации не совсем понятно, на основе какого преобразования были получены составляющие коэффициента трения, в частности, упруго-инерционные, диссипативные составляющие.

6. В разделах, посвященных анализу вторичных структур, образованных на поверхностях трибосопряжений, автор использует словосочетание «твердость алюминия». Корректнее было бы, по-видимому, говорить о твердости сплава алюминия.

7. На мой взгляд, объем приложений избыточен, можно было сократить общий объем диссертационной работы, исключив из приложений описание программ расчета и проверки адекватности, а также обобщив результаты некоторых экспериментальных исследований (например, рисунки П.36 и П.39).

8. К недостаткам работы следует отнести некоторую бессистемность изложения материала. Так, например, в главах 4 и 5, посвящённых экспериментальным исследованиям, включены вопросы методики проведения исследований, что затрудняет понимание общей структуры работы. Следовало бы также выводы по главам 1 – 4 более тесно привязать к теме диссертации.

9. Автор часто использует сложные многословные предложения, усложняющие понимание текста (стр. 26, 33, 101, 177, 178 и т.д.).

Однако сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, обусловлены, на мой взгляд, широтой поставленных задач исследования и, в основном, носят рекомендательный характер.

10. Заключение

Диссертация Харламова Павла Викторовича «Повышение эффективности системы «путь – подвижной состав» термометаллоплакированием фрикционных поверхностей колеса и рельса» по своей актуальности, новизне, поставленным задачам исследования, объёму, структуре и практической значимости является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной автором

самостоятельно на высоком научном уровне. В ней содержатся новые научные результаты и технологические решения в области динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта, использование которых вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса в транспортном комплексе России.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы и позволяет сделать заключение о высоком научном уровне выполненной работы. Материалы диссертации и автореферата хорошо иллюстрированы.

Диссертация соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор – Харламов Павел Викторович, заслуживает присуждение ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.5.3 – «Трение и износ в машинах» и 2.9.3 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология машиностроения»
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет»
(ФГБОУ ВО ДГТУ)

Бутенко Виктор Иванович
«12» 04 2022 г.

Адрес: Россия, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
тел. +7(928)6005761
e-mail: butenkowiktor@yandex.ru

Подпись профессора Бутенко Виктора Ивановича удостоверяю

Учёный секретарь Учёного совета
ФГБОУ ВО ДГТУ



Анисимов Владимир Николаевич