



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИМАШ РАН

д.т.н., профессор  В.А. Глазунов

«15» 04 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук 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, общие выводы, библиографический список из 232 наименований и 7 приложений, в том числе 51 таблица и 305 рисунков. Основное содержание изложено на 344 страницах текста, общий объем работы составляет 468 страниц.

Актуальность темы диссертационного исследования

Решение проблем обеспечения требуемых уровней износостойкости, долговечности и эксплуатационных характеристик тяжело нагруженных узлов трения машин и механизмов транспортных систем весьма актуально при существующих в настоящее время тенденциях к ужесточению условий их функционирования. В железнодорожном транспорте определяющими факторами повышения грузоподъемности вагонов и скорости движения поездов, их веса, нагрузки, снижения эксплуатационных расходов на содержание пути и подвижного состава являются надежность и ресурсные характеристики фрикционной системы "колесо-рельс". Страны с развитым железнодорожным транспортом ведут работы по созданию технологии повышения величины и стабильности коэффициента сцепления колес с рельсами, снижению интенсивности изнашивания колес и рельсов. В последние годы для решения проблем подсистемы «колесо – рельс» системы «путь-

подвижной состав» применяют целый ряд технологических решений, связанных с методами введения третьего тела в область фрикционного взаимодействия колёс и рельсов. Это позволяет реализовывать эффективные и инновационные решения задач повышения скоростей движения и масс поездов, использования тяговых возможностей подвижного состава, увеличения срока службы и снижения уровня отказов элементов верхнего строения пути и эксплуатируемого подвижного состава.

Рассматриваемая работа посвящена исследованию вопросов взаимодействия колес подвижного состава с рельсами, а также организации динамического мониторинга мобильных транспортных систем для краткосрочного либо долгосрочного прогнозирования аномального состояния фрикционных связей механических систем и управления их динамическими характеристиками с целью исключения его реализации путём термометаллоплакирования фрикционных поверхностей колеса и рельса.

Поддержка данных исследований грантами Президента РФ и ОАО «РЖД» подтверждает важность и актуальность темы данного диссертационного исследования.

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; разработка 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 допустимо, так как рассматриваются малые вариации нелинейной модели.

Установлены закономерности, позволившие обоснованно уточнить выражение для расчета безразмерного коэффициента демпфирования фрикционной механической системы, что позволяет во времени наблюдения

идентифицировать в октавных диапазонах частот тренды изменения упруго-диссипативных свойств фрикционного взаимодействия.

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, с применением системы анализа поверхности трения с помощью рентгеновской и оже-электронной спектроскопии.

Методом физико-математического моделирования определены условия динамического подбора реализации продольных и поперечных сил крипа, что позволило разработать критерии подбора тяговой мощности и контактного давления, которые позволили перенести результаты модельных исследований на натурный объект с эквивалентными фрикционными характеристиками.

Обосновано применение металлоплакирующих материалов для формирования оптимальной (по сравнению с поверхностями без покрытия) равновесной шероховатости тяговой поверхности колеса локомотива и снижения его износа в процессе работы.

Определена совокупность параметров для организации динамического мониторинга фрикционных систем с учетом реализации многообразия физико-химических и упруго-диссипативных характеристик трибосистем.

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

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

В основе подхода, использованного автором, лежат методы физико-математического моделирования, трибоспектральной идентификации процессов трения, анализа частотных передаточных функций, динамического мониторинга трибологических процессов. Такой путь позволяет получить отображение динамических свойств исследуемых трибосистем через характеристики, доступные измерению. Для исследования механизма образования вторичных структур использован метод квантово-химических расчетов, а также сканирующий (растровый) электронный микроскоп с приставкой энергодисперсионного анализатора, система анализа поверхности SPECS для рентгеноэлектронной и оже-электронной спектроскопии. Применение уникального лабораторного комплекса «путь-подвижной состав» для физического моделирования взаимодействия подвижного состава и пути, а также сертифицированного измерительного оборудования и программного

обеспечения в качестве инструментальных средств позволило обеспечить достоверность проведенных исследований. Экспериментальные исследования на лабораторных, макетных и натуральных образцах проводились для подтверждения корректности теоретических результатов.

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

Научная новизна результатов работы

Основная новизна результатов работы подробно изложена в диссертации -химических и упруго-диссипативных характеристик и автореферате. Научная новизна работы заключается в создании научного направления в области системного анализа и синтеза функционально связанных физико 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:

1. Разработка n-вариантных эквивалентных моделей квазилинейных фрикционных подсистем динамической системы «путь - тяговый подвижной состав» с заданным уровнем корреляции основных динамических характеристик существенно-нелинейных фрикционных и квазилинейных механических подсистем природы и модели, что позволяет сократить этап натуральных испытаний.

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

3. На основе физико-химического подхода и квантово-химического анализа изучен механизм и кинетика образования вторичных структур

фрикционного переноса на поверхности контртела, что позволяет обосновать применение металлоплакирующих материалов для модифицирования фрикционных поверхностей колес тягового подвижного состава.

4. С помощью метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и системы анализа поверхности SPECS показано, что:

а) во вторичных структурах помимо зарегистрированных С 1s, О 1s и Al 2p спектров происходит образование окисленных атомов железа и Al₂O₃ ;

б) содержание железа на исходной поверхности трения и на модифицированной поверхности после ионного травления отличается в десятки раз, что указывает на то, что пленка из Al₂O₃ снижает диффузию кислорода из внешней среды в поверхность катания колеса.

5. На базе анализа тенденции 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.

6. На базе анализа тенденции изменения упруго-диссипативных характеристик фрикционного взаимодействия колеса тягового подвижного состава с рельсом предложена методика формирования функциональных вторичных структур на рабочих поверхностях бандажа колес тягового подвижного состава способом термометаллоплакирования.

7. Разработаны критерии подобия тяговой мощности и контактного давления натурального подвижного состава его физико-математической модели, что позволило методами математического планирования эксперимента, математической статистики и трибоспектральной идентификации сформулировать принципы реализации процесса сцепления колес тягового подвижного состава с рельсами при использовании модификаторов трения.

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

Практическая значимость работы

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

К наиболее значимым результатам можно указать следующие положения:

1. Раскрытие механизма фрикционного переноса материалов и формирование вторичных покрытий с анизотропными свойствами

современными методами динамического мониторинга и трибоспектральной идентификации процессов трения, акустической эмиссии обеспечит создание информационной базы для разработки новых высокоэффективных модификаторов трения, а для исключения термических повреждений поверхностей трения с использованием октавного анализа энергетических потерь во фрикционном контакте обеспечит управление нагрузочно-скоростными условиями эксплуатации различных фрикционных подсистем, а следовательно повысит энергоэффективность тягового подвижного состава.

2. Для решения задач динамического мониторинга фрикционных систем (непрерывного сбора информации о динамических параметрах), а также краткосрочного, либо долгосрочного прогнозирования динамического состояния механической системы и, в частности, фрикционного контакта, 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.

4. Разработана технология повышения силы тяги локомотива и сокращение потерь энергии. В качестве третьего тела вносимого в контакт колеса локомотива с рельсом используется материал, обладающий анизотропными свойствами.

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

Внутреннее единство структуры работы

Все главы диссертации представляют целостную структуру, в которой проведены исследования для тяжело-нагруженных узлов трения и металлических трибосистем. 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 РФ на изобретения.

Опубликованные работы в полной мере отражают содержание

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

Материалы работы были доложены на международных и российских конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и охватывает все разделы.

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.

Замечания по диссертации

1. В диссертации не разъяснено, в чем заключается отличие выражения интеграла Дюамеля, представленного на с. 71, от представленных в литературных источниках.

2. В работе представлено применение методики n-вариантного моделирования. Однако необходимость применения нескольких моделей рассматриваемой системы в работе не обоснована.

3. Известно, что коэффициент демпфирования относится к прямым оценкам качества динамической системы и представляет скалярную величину. В диссертации использовано не традиционное выражение этого коэффициента для анализа так называемых трендов в области треть-октавных частот. В диссертации не разъяснено, что позволяет установить анализ трендов

коэффициента демпфирования фрикционной системы, представленного в работе.

4. При проведении квантово-химических расчетов адгезии алюминия к железу и когезии в алюминии анализируются фрагменты рассматриваемой системы, состоящей из пяти слоев (с. 83-85). Следует обосновать корректность такого представления в реальных условиях эксплуатации, когда на поверхностях фрикционного контакта «колесо-рельс» присутствуют оксиды металлов.

5. Из диссертационной работы не понятно, чем руководствовался автор при выборе точек анализа спектров (рис. 4.11, 4.18, 4.25, 4.39, 4.55, 4.69, 4.89, 4.112).

6. Автор для обеспечения реализации номинальных и исключения аномальных режимов функционирования предлагает применить формирование управляющих воздействий на фрикционный контакт колеса и рельса. Не ясно, какие управляющие воздействия предлагается использовать.

7. Исследование трибологических характеристик предлагаемого модификатора трения проводилось в лабораторных условиях при нормальной температуре. Не ясно, как можно использовать эти результаты в реальных эксплуатационных условиях северных и южных районов нашей страны, где температуры меняются в пределах $+50 \dots -50$ °С.

Сделанные замечания не снижают существенным образом ценности рассматриваемой диссертации, выполненной несомненно на достаточно высоком научно-техническом уровне.

По работе рекомендуется принять следующее заключение:

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»

Диссертационная работа Харламова Павла Викторовича «Повышение эффективности системы путь – подвижной состав термометаллоплакированием фрикционных поверхностей колеса и рельса», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.5.3 (05.02.04) – Трение и износ в машинах и 2.9.3 (05.22.07) Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013г.), в том числе критериям, сформулированным в п. 9-14, представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную автором самостоятельно на высоком уровне, в которой 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.

На основании вышеуказанного считаю, что 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».

Главный научный сотрудник отдела
«Трение, износ, смазка. Трибология»,
доктор технических наук по
специальностям: 05.02.04 – Трение и
износ в машинах и 05.17.07 –
Химическая технология топлива и
газа, старший научный сотрудник

Буяновский Илья Александрович

Адрес: 101000, г. Москва,
Малый Харитоньевский переулок, д. 4,
тел. 8 (495) 628-87-30

*Подпись заверен
запр. печатью*



С.С. Фаридова