

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Ахмат Чокаевича Эркенова

на диссертацию **Озябкина Андрея Львовича**

«Развитие теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта»,

представленную на соискание учёной степени доктора технических наук

по специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах»

Актуальность темы диссертационного исследования.

Интенсификация перевозочного процесса, выполняемого железнодорожным транспортом, увеличение скоростей движения предъявляют повышение требований к безопасности эксплуатации подвижного состава. На сети дорог ОАО «Российские железные дороги» находятся в эксплуатации многие сотни тысяч железнодорожных вагонов и локомотивов, основной фрикционной системой которых является узел трения «колесо – рельс». Особенностью этого узла трения является наличие, как тяговой поверхности, так и антифрикционной поверхности трения гребней о рельсы. Эксплуатация фрикционных систем «колесо – рельс» осуществляется в различных природно – климатических условиях, подвержена воздействию атмосферных осадков, пыли, песка, продуктов перевозочного процесса и так далее. К такой фрикционной системе предъявляются различные эксплуатационные требования, а от эффективности, надёжности работы – зависит безопасность эксплуатации подвижного состава. Развитие в начале XXI века вычислительной техники, информационных технологий, инструментальных средств регистрации колебательных состояний транспортных систем способствовало появлению технологий динамического мониторинга. Однако существующие методы и способы динамического мониторинга фрикционных систем не достаточно отражают упруго – диссиPATивную природу процессов трения.

С целью повышения эффективности, безопасности и ресурса узлов трения железнодорожного транспорта в диссертационной работе Андрей

Львович использует комплексный подход к решению задач динамического мониторинга фрикционной подсистемы «колесо – рельс» с использованием методов физического моделирования натурных объектов на стендах, информационных технологий обработки колебательных состояний фрикционно – механических систем, трибоспектральной идентификации процессов трения и экспериментальной триботермодинамики. Это позволило автору разработать новую концепцию динамического мониторинга натурных фрикционных систем, автоматизированного управления нагрузочно – скоростными режимами их эксплуатации или приводами подачи модификаторов трения во фрикционный контакт колёс с рельсами.

В связи с этим тема настоящего диссертационного исследования представляется весьма актуальной и востребованной как в теоретическом, так и в прикладном отношении.

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

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается и подтверждается:

- корректной постановкой цели и задач исследований, их хорошей взаимосвязью;
- изучением достаточного круга библиографического списка по транспортным системам, теории автоматического управления, цифровой обработке сигналов, трибологии фрикционных систем железнодорожного транспорта, информатике и другим смежным вопросам;
- использованием широко апробированной на практике теории и методов физического и математического моделирования натурных объектов, математического планирования эксперимента, математической статистики;
- разработкой собственных алгоритмов динамического мониторинга фрикционных систем и программного обеспечения, реализующих методы ана-

лиза размерностей физических параметров, математического планирования эксперимента, трибоспектральной идентификации процессов трения;

- достаточной аprobацией результатов диссертационного исследования.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- адекватностью разработанных математических и физических моделей;
- идентичностью динамических характеристик объекта исследования и модели;
- использованием известных положений фундаментальных наук – математического и физического моделирования, математического планирования эксперимента, математической статистики, трибоспектральной идентификации процессов трения, теории автоматического управления;
- сходимостью результатов теоретических исследований с данными эксплуатации ряда фрикционных подсистем железнодорожного транспорта;
- аprobацией результатов исследований на сети дорог ОАО РЖД (СКЖД, ВСЖД, Горьковской, Куйбышевской и др.), в ходе реализации отраслевой научно-исследовательской работы по теме 19.5.002.Р «Оптимизация ширины рельсовой колеи».

В работе получены результаты, обладающие научной новизной согласно паспорту специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

1) Раскрыты некоторые вопросы механики контактного взаимодействия при трении скольжения, трении качения с проскальзыванием узлов трения «колесо – рельс» железнодорожного подвижного состава и «диск – тормозные колодки» транспортного средства на основе их динамического мониторинга, отображения их свойств в координатах состояния, доступных измерению. Исследованы триботехнические (коэффициенты трения, коэффициенты сцепления, коэффициенты демпфирования, основные виды схва-

тывания поверхностей трения) и трибоспектральные (амплитудно-фазово-частотные характеристики комплексного коэффициента трения, их интегральные оценки, коэффициенты запаса устойчивости по амплитуде и фазе) характеристики следующих контактных областей трения:

- фрикционной (тяговой) поверхности колёсных пар и рельсов – режимы трения качения с проскальзыванием, реализации продольных и поперечных сил тягового подвижного состава (разделы 2.2, 2.3, 3.3, 4.2);
- антифрикционной поверхности гребней колёсных пар с боковой поверхностью головки рельса – режимы трения качения с проскальзыванием (разделы 3.4, 4.3);
- поверхностей колёсных пар при роспуске вагонов на немеханизированных сортировочных горках – режимы трения со скольжением (разделы 3.5, 4.4);
- решение задачи устранения акустических шумов, возникающих при взаимодействии поверхностей колёсных пар с тормозными шинами при роспуске вагонов на механизированных сортировочных горках (раздел 4.5);
- тормозных режимов автотранспортных средств (раздел 3.6).

2) Рассмотрены вопросы *физического и математического моделирования процессов трения и изнашивания* во фрикционных системах.

- создана математическая модель тягового подвижного состава, характеризующая общие динамические характеристики подсистемы «колесо – рельс» в двух ортогональных направлениях фрикционного взаимодействия – нормального сближения и тангенциального смещения (раздел 2.1);
- создана модель динамических связей фрикционного контакта колёс и рельсов, раскрывающая взаимосвязь сил нормального взаимодействия и сил тангенциального смещения (разделы 2.2, 2.3);
- разработаны физико-математические модели различных фрикционных систем, которые позволили устраниить некоторые из противоречий, возникающих при рассмотрении и применении критериальных соотношений физико – математического моделирования (раздел 2.4);

- определена регрессионная модель оптимизации упруго-диссипативных и инерционных характеристик специализированного подвижного состава (разделы 3.1, 4.1), которая позволила решить задачи оптимизации инерционных и упруго-диссипативных параметров специализированного подвижного состава.

На основе разработанных физико-математических моделей фрикционных мобильных систем получены патенты РФ № 2090859 «Способ исследования триботехнических характеристик узла трения» и № 2343450 «Способ испытаний узлов трения».

3) Рассмотрен ряд вопросов *термодинамики трибосистем*. Использование физических основ подобия при лабораторных исследованиях тепловых процессов, реализуемых при трении качения с проскальзыванием (в подсистеме «гребень колеса – боковая поверхность головки рельса») и при трении скольжения (при башмачном торможении железнодорожных вагонов на немеханизированных сортировочных горках) позволили обеспечить подобие во фрикционном контакте максимальных контактных температур и градиента температуры модельной пары трения и объекта исследований (разделы 2.4.5, 2.4.6); идентифицировать и прогнозировать динамические режимы трибосистем, следствием которых являются термические или атермические повреждения поверхностей трения (раздел 3.5); экспериментально подтвердить корректность методики определения максимальных контактных температур на фактической площади касания поверхностей трения (раздел 3.5).

4) Рассмотрены вопросы *диагностики и динамического мониторинга трибосистем*:

- при реализации аномального режима движения – боксования тяговых колёсных пар железнодорожного подвижного состава и предотвращения указанного режима путём введения модификаторов трения, обеспечивающих стабильность коэффициента сцепления (разделы 3.3, 4.2) – получен патент РФ № 2293677 «Модификатор трения и система управления приводом его подачи»;

- наличия и (или) отсутствия смазочных материалов при взаимодействии гребней колёсных пар с боковой поверхностью головок рельсов (разделы 3.4, 4.3);
- возникновения в контакте колёсных пар с рельсами термического или атермического схватывания (разделы 3.5, 4.4);
- увеличения надёжности трибосистемы «диск – тормозные колодки» транспортного средства (раздел 3.6);
- оптимизации упруго-диссипативных связей верхнего строения пути, завершения режима ускоренной приработки поверхностей трения (раздел 3.7);
- устранения акустических шумов, возникающих при взаимодействии поверхностей колёсных пар с тормозными шинами при роспуске вагонов на механизированных сортировочных горках (раздел 4.5).

На основе разработанной теории и методов динамического мониторинга, диагностики фрикционных систем получен патент РФ № 2517946 «Способ динамического мониторинга фрикционных мобильных систем».

Автором установлена совокупность параметров динамического мониторинга фрикционных систем, что позволило: а) учесть многообразие динамических и физических свойств систем трения; б) дополнить существующую систему знаний об узлах трения в области влияния динамических характеристик взаимодействующих друг с другом механических и фрикционных подсистем на функциональные свойства трибосистем как динамической связи, их объединяющей; в) объяснить многие, не рассматриваемые ранее явления в трибоконтакте; г) оценивать мощность необратимых, эволюционных преобразований в контактной области (например, развития износа в контактной области, изменения фрикционных характеристик контакта за счёт изменения свойств внешней среды и пр.); д) создать алгоритмы функционирования интеллектуальных систем управления функционированием фрикционных систем, отказы которых недопустимы.

Научная новизна полученных теоретических результатов и разработанных положений подтверждается их публикациями и докладами на международных, всероссийских и региональных научных конференциях.

Значимость результатов диссертации для практики.

Полученные в работе научные результаты позволили реализовать динамический мониторинг, обеспечивающий:

- возможность исследования, сбора идентификационных параметров узлов трения натурных объектов транспортных систем на физических моделях, что позволяет уменьшить стоимость научно-исследовательских, оптимизационных работ, в том числе за счёт отказа от изготовления натурного объекта и проведения его испытаний на испытательном полигоне,
- информацией о наличии или отсутствии смазочного материала на боковой грани рельсов, что позволяет установить требуемую периодичность использования технических средств лубрикации боковой грани головки рельса,
- исключение аномального движения – боксования тяговых колёсных пар по рельсам, с использованием систем автоматического управления подачей модификаторов трения в зону их фрикционного взаимодействия,
- исключение термоповреждений поверхностей трения в результате использования средств динамического мониторинга и идентификации максимальных контактных температур на фактической площади касания,
- предотвращение или понижение уровней акустического шума, возникающего при взаимодействии колёсных пар грузовых вагонов с тормозными шинами на механизированных горках сортировочных станций,
- повысить надёжность и эффективность дисковых тормозных механизмов транспортных систем,
- использовать теоретические и методологические положения динамического мониторинга фрикционных систем в учебном процессе при выполнении практических занятий на экспериментальных комплексах «подвижной

состав – путь» по ряду дисциплин специальностей 151600 «Прикладная механика», 190109 «Наземные транспортно-технологические средства».

Практическая значимость результатов исследований Андрея Львовича подтверждается актами испытаний, приведенными в приложениях 3...7.

Замечания по диссертации.

1) Приведенный в обзорной главе раздел динамики фрикционных систем в режиме предварительного смещения на основе бифуркации (С. 40...43) больше нигде в работе не используется и не анализируется.

2) Динамическая модель специализированного подвижного состава на С. 110 не отражает основных колебаний галопирования (продольной качки), бокового (поперечного) относа, боковой качки и виляния кузова и тележек, однако позволила методом математического моделирования улучшить динамические показатели, обеспечив отсутствие отрыва колёсных пар от рельсов в направлении колебаний подпрягивания.

3) При создании расчётных моделей специализированного подвижного состава (С. 110) и двухосного транспортного средства (С. 121, 122) использованы разные математические обозначения демпфирующих связей (соответственно β и K), парциальных коэффициентов сопротивления (соответственно n и h).

4) В диссертационной работе приведено множество рисунков, имеющих довольно большой объём информации (например, рис. 3.5, 3.6, 3.8, 3.13, 3.47, 3.57...3.59 и др.), что усложняет осмысление результатов исследований.

5) Не понятно, по каким критериям автором устанавливался ресурс резового нанесения смазочного материала по величине коэффициента трения (С. 202 и рис. 3.15).

6) В работе автором использовано много величин, имеющих размерность Децибела. Известно, что децибел является мерой акустического звукового давления и вычисляется относительно некоторой пороговой величины. Не понятно, как указанная размерность применяется автором для оценки ко-

лебательных состояний и какова, использованная автором, пороговая величина в этом выражении.

7) При определении максимальных контактных температур методом экспериментальной триботермодинамики (С. 248) не ясно, как была определена объёмная масса, передающая тепловой поток. Известно, что многие термопары могут устанавливаться непосредственно в контактную область. Не ясно, на основе каких положений было выбрано автором расстояния от фактической площади касания до термопары и между двух термопар.

8) Отсутствуют статистически подтверждённые результаты того, что положительные значения взаимной корреляционной функции регистрируемых значений температуры и момента трения (С. 219...232, 252) характеризуют термический вид схватывания поверхностей трения, а отрицательные значения (С. 232...234, 253) – атермический вид.

9) Не ясно, при каких динамических нагрузочно – скоростных режимах эксплуатации суппорта тормозного механизма были получены трибоспектральные характеристики, представленные на (С. 256...258), что осложняет осмысление существенного изменения представленных на рис. 3.45 амплитудно-частотных характеристик.

10) Приведенные автором на С. 290...295 диссертационной работы результаты трибоспектральной идентификации прочих фрикционных систем описаны очень скромно, базируясь на опубликованные работы. Считаю, что основных научных достижений автора материал не отображает, и его можно было в работе не указывать. К этому выводу можно было бы отнести и теоретические положения (приложение 1 на С. 357...366) методов решения дифференциального уравнения теплопроводности.

11) Результаты эксплуатационных испытаний на С. 297...325 мало связаны с основными положениями развития теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта. Считаю, что это может быть связано со сложностью обеспечения безопасности перевозочного процесса, выполняемого железнодорожным транспортом Российской

ской Федерации и надеюсь, что в будущем будут предприняты попытки аprobации результатов диссертационной работы на натурном подвижном составе.

12) Следует отметить также недостаточное отражение результатов исследований в зарубежных изданиях, входящих в список цитирования Scopus и Web of Science.

Данные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы. Они в целом носят рекомендательный характер и не снижают научную ценность и практическую значимость работы.

Заключение и оценка диссертации.

Диссертация Озябкина А.Л. состоит из введения, четырёх глав, общих выводов и 7 приложений, изложена на 398 страницах машинописного текста, содержит 33 таблицы, 137 рисунков и 255 наименований библиографического списка. Основное содержание изложено на 329 страницах текста.

Диссертационное исследование Озябкина Андрея Львовича является завершённой научно – квалификационной работой, в которой решается актуальная задача повышения надёжности фрикционных систем, безопасности эксплуатации подвижного состава. На основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как:

- решение научной проблемы оценивания в реальном времени упруго – диссипативной природы процессов трения во фрикционных системах транспортных систем, устойчивости формирования динамических связей во фрикционном контакте, краткосрочного или долгосрочного прогнозирования их изменений и автоматизированного управления нагруженно – скоростными условиями эксплуатации фрикционных систем или приводами подачи модификаторов трения во фрикционный контакт;
- как научно обоснованные научно – технологические решения, внедрение которых на железнодорожном транспорте вносит значительный вклад в ускорение научно – технического прогресса, позволит решить многие задачи,

выдвинутые распоряжением правительства РФ от 17.06.2008 № 877-р «О стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года».

Диссертация Озябкина Андрея Львовича выполнена автором самостоятельно на высоком уровне в соответствии с Паспортом специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах по следующим направлениям:

пункта 2 – «Механика контактного взаимодействия при трении скольжения, трении качения и качения с проскальзыванием с учётом качества поверхностного слоя», в частности, механике контактного взаимодействия при трении скольжения и качения с проскальзыванием;

пункта 10 – «Физическое и математическое моделирование трения и изнашивания»;

пункта 11 – «Термодинамика и самоорганизация трибосистем», в частности, термодинамике трибосистем;

пункта 13 – «Диагностика трибосистем».

Полученные автором результаты исследования достоверны, выводы и заключения обоснованы. Результаты диссертационного исследования достаточно полно представлены в публикациях соискателя. По материалам диссертационного исследования опубликовано 64 печатные работы, в том числе 19 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и охватывает все её разделы.

По характеру рассматриваемых работ, поставленных и достигнутых целей и задач, диссертация полностью соответствует требованиям ВАК (пп. 9, 10, 11 Положения «О порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор – Озябкин Андрей Львович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

Официальный оппонент:

Депутат, доктор технических
наук, профессор

Эркенов Ахмат Чокаевич

«23» сентября 2014 г.

Место работы: Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации.

Адрес: 103265, Россия, г. Москва, Охотный ряд, 1

Тел.: (495) 692-79-90

E-mail: erkenov@duma.gov.ru

Горшков Ринат Абдесаламович
Депутат Государственной Думы Российской Федерации
Родился 19.01.1970 г. в г. Казань Татарстана

Главный советник



М.А. Густова

23 СЕН 2014