

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Озябкина
Андрея Львовича** на тему: «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».

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, общих выводов и приложений. Она изложена на 329 страницах машинописного текста, содержит 33 таблицы, 137 рисунков, 255 наименований использованной литературы и 7 приложений.

Актуальность темы диссертационного исследования.

Эффективность и безопасность эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта невозможна без обеспечения надёжной работы входящих в него фрикционных систем, среди которых важнейшие функции выполняют узлы трения «колесо – рельс» и тормозные устройства. Поэтому необходима корректная оценка уровня и закономерностей взаимовлияния процессов, протекающих во фрикционном контакте, и выработка на основе этого теоретических и экспериментальных методов повышения работоспособности рассматриваемых устройств.

Возможности достижения указанной цели могут быть обеспечены благодаря рациональному использованию современных информационных технологий и инструментальных средств непрерывного анализа информации об уровне динамических параметров триботехнических систем, в том числе путем регистрации виброколебательного состояния ответственных узлов подвижного состава.

Однако существующие системы непрерывного динамического мониторинга в недостаточной степени отображают упруго – диссипативную природу процессов трения, что не позволяет осуществлять мониторинг состояния функциональных поверхностных слоев, в том числе, и на наноуровне, а, соответственно, достаточно надёжно оценивать выходные трибохарактеристики фрикционного контакта, прогнозировать предполагаемые изменения его состояния.

В связи со сложностью проведения исследований на натурных образцах, принятых объектов в диссертационной работе совершенно оправданно предлагается выполнять анализ фрикционных систем подвижного состава на физических моделях. Для этого автором были разработаны физико–математические модели подвижного состава, на

которых определялись особенности взаимовлияния динамических параметров исследуемых системы с динамическими условиями, реализующимися в зоне фрикционного контакта тяговых колёсных пар подвижного состава с рельсами.

Важным для обеспечения поставленных задач является обоснование возможностей применения интегральных амплитудно – фазочастотных характеристик для изучения упруго – диссипативной природы трения, а также разработка путей оценки природы трения в широких диапазонах частот и выявить новые закономерности формирования динамических связей во фрикционных контактах «колесо – рельс» железнодорожного подвижного состава и «диск – тормозные колодки» транспортных средств.

На основании вышесказанного считаю, что диссертационная работа Озябкина А.Л. посвящена решению важных теоретических и практических задач, направленных на повышение надёжности и безопасности рассматриваемых фрикционных систем железнодорожных транспортных средств, что обеспечивает ее актуальность.

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

Анализ содержания диссертации показывает, что автором на основе использования физического и математического моделирования, планирования эксперимента, современных способов получения и обработки экспериментальных данных корректно выполнен анализ возможностей динамического мониторинга фрикционных систем и сделан вывод, что методы изучения динамического взаимодействия отдельных элементов рассматриваемых объектов и систем, образующих в них функциональные фрикционные контакты выбраны правильно. Поэтому они позволяют более полно, чем известные, выявить динамику формирования сил трения и сцепления в рассматриваемых системах.

То же касается и принципов трибоспектральной идентификации фрикционных систем и физико-математического моделирования, применительно к конкретным видам транспортных средств. При этом обоснованным представляется подход выявления взаимосвязи динамических процессов в механической системе и во фрикционном контакте, многовариантное моделирование, что позволяет адекватно оценить динамику фрикционных систем натурных образцов и их моделей.

При этом уточнены методы определения констант подобия сил фрикционного взаимодействия, за счет предложенного способа исследования

фрикционных систем. Это позволило уточнить константы динамического подобия механических систем и динамического взаимодействия контактирующих поверхностей, обеспечивающие достижение идентичности изнашивания поверхностей трения на натуральных образцах и в лабораторных условиях. Поэтому предложенные критерии подобия фрикционных систем, адекватно оценивают динамические свойства фрикционного взаимодействия в условиях реализации упруго – диссипативных характеристик, тормозного усилия, теплового режима работы тормозного механизма, условий смазывания поверхностей трения и т.д.

Разработанная автором методика «экспериментальной триботермодинамики» позволяет оценивать температурный режим фрикционного контакта и выявлять максимальные значения температур. При этом показана возможность прогнозирования потери устойчивости фрикционных связей и оценки их текущих параметров, определяемых своего рода точками равновесия. При этом изменение коэффициентов используемых дифференциальных уравнений несёт информацию о текущих свойствах фрикционного контакта.

В рассматриваемой работе также показано, что параметрические спектральные оценки недостаточно отображают диссипативные потери анализируемых систем. Поэтому введение автором *частотной передаточной функции* для раскрытия динамической модели фрикционных связей, представляется достаточно аргументированным.

Научно обоснованной является предложенная автором система интегральных оценок, позволяющая оценить соотношение упруго-инерционных и диссипативных сил фрикционного взаимодействия, а также выявить механизмы потери устойчивости, условия необратимости в контактной области и сформулировать новое направление – осуществление динамического мониторинга состояний фрикционных механических систем непосредственно в ходе их функционирования.

Научно обоснованными в диссертационной работе являются результаты исследований триботермодинамики фрикционных систем и методы анализа упруго-диссипативных связей механических систем специализированного подвижного состава. Также достаточно обоснован предложенный автором алгоритм трибоспектральной идентификации физических процессов, протекающих во фрикционном контакте, и программа «Цифровая обработка сигналов», обеспечивающей анализ состояния фрикционных систем и прогнозирование его возможного изменения за счет

управления устройствами подачи смазочного материала, или модификатора трения на колёсные пары подвижного состава.

Автором обоснованно показано, что возникновению критических режимов в зоне трения предшествует опережающее возрастание амплитудно-фазочастотных характеристик за счет перехода трибосистемы из одного стационарного состояния в другое и выявлены признаки возникновения схватывания поверхностей трения. При этом установлены критерии определяющие условия формирования равновесной шероховатости и возникновения термоповреждений. Учет этого позволяет предотвратить схватывание, путём регулирования условий и режимов фрикционного взаимодействия.

Соответственно, теоретически и экспериментально обоснованными являются результаты испытаний фрикционных систем, подтверждающие корректность теоретических и экспериментальных данных, обосновывающих что увеличение ширины колеи с 1520 до 1524 мм ведёт к возрастанию интенсивности изнашивания гребней колёс и рельсов и потерям тяговой мощности.

Подтверждена также эффективность борьбы с износом колёсных пар и рельсов за счет подачи смазочных композиций в зону их контактирования. Как достоверно показали результаты эксплуатационных испытаний модификаторов трения тягового подвижного состава, их применение позволяет повысить прицепную нагрузку к локомотиву, стабилизировать тяговые характеристики и предотвратить боксование тяговых колёсных пар, что позволяет снизить потери энергии, связанные с ее затратами на боксование. При этом включение в компьютерную систему локомотива системы прогнозирования боксования, позволяет повысить его эксплуатационные характеристики.

Таким образом, можно отметить достаточную степень обоснованности сформулированных в диссертационной работе научных положений, выводов и рекомендаций.

Не вызывает сомнения высокий **личный вклад автора диссертации** в развитие теории мониторинга фрикционных мобильных систем, повышения их надёжности и безопасности движения. Обоснованность и завершённость исследований автора отражает также широкое внедрение их на сети дорог ОАО РЖД.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью разработанных моделей, целесообразным использованием положений базовых

фундаментальных наук, сходимостью результатов теоретических исследований с экспериментальными и эксплуатационными данными при изучении фрикционных систем железнодорожного транспорта, широкой апробацией результатов исследований на сети дорог ОАО РЖД, а также в ходе успешной реализации научно-исследовательской работы по теме 19.5.002.Р «Оптимизация ширины рельсовой колеи». Новизна технических решений подтверждается положительными результатами экспертизы по заявкам на патенты РФ: № 2293677 «Модификатор трения и система управления приводом его подачи», № 2090859 «Способ исследования триботехнических характеристик узла трения», № 2343450 «Способ испытаний узлов трения», № 2517946 «Способ динамического мониторинга фрикционных мобильных систем».

Научная новизна результатов работы.

Научная новизна диссертации заключается в создании методологии динамического мониторинга фрикционных систем, позволяющей достоверно оценивать роль многообразных процессов, протекающих в зоне фрикционного контакта и их внешних проявлениях; развить систему знаний о динамике фрикционных систем; выявить закономерности формирования фрикционных связей при изменении нагрузочно-скоростных режимов контактного взаимодействия и создать системы автоматизированного управления функционированием фрикционных систем, отказы которых недопустимы.

Достигнутая научная новизна базируется на следующих аспектах диссертационного исследования:

1) разработка принципов физического моделирования натуральных механических систем с узлами трения, базирующихся на учёте взаимосвязи изменений во фрикционном контакте с динамическими параметрами механических систем. При этом динамические характеристики фрикционного контакта определяются на основе представления сил контактного взаимодействия в координатах, доступных для измерения;

2) комплексное использование для реализации задач динамического мониторинга исследуемых объектов физико-математического моделирования, трибоспектральной идентификации протекания процессов трения и экспериментальной триботермодинамики фрикционных систем;

3) разработка и изучение в реальном времени функционирования фрикционных систем в наиболее информативных полосах частот, позволяющих качественно и количественно определять показатели текущей работы и (или) мощности необратимых изменений подводимой энергии в узле трения. На этой основе предложены алгоритмы динамического

мониторинга интегральных оценок амплитудно-фазочастотных характеристик фрикционных систем, характеризующих упруго-диссипативную природу процессов трения;

4) выявление связи процессов, протекающих во фрикционном контакте, с амплитудно-фазочастотными характеристиками сил контактного взаимодействия и выходными триботехническими характеристиками фрикционных систем. Количественное и качественное сопоставление объёмных температур с трибоспектральными характеристиками процессов трения, позволяющее создать новые алгоритмы динамического мониторинга фрикционных систем.

Таким образом выдвинутые соискателем теоретические и методологические положения, а также сформированные им выводы и научные положения являются новыми.

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, а также автоматизированное управление функционированием фрикционных систем, отказы которых недопустимы.

Практическая значимость диссертационной работы подтверждается успешной реализацией стержневого гребнерельсосмазывания контактно-ротапринтным способом на ряде железных дорог – филиалов ОАО «РЖД». Для реализации указанной технологии автором разработаны технологические схемы лубрикации: гребнесмазывание, гребнерельсосмазывание и гребнерельсосмазывание с использованием автоматизированных устройств.

Указанные практические результаты исследований автора широко внедрены на сети дорог ОАО «РЖД», а также используются в учебном процессе ВУЗов.

Полнота публикаций.

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, общим объёмом 98,1 печатных листов, из которых 47,3 печатных листа принадлежат лично автору диссертации. Опубликованные работы в полной мере отражают содержание

представленной диссертации. Материалы работы в полной мере были доложены на международных и российских конференциях, семинарах, совещаниях.

Соответствие автореферата диссертации. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и охватывает все её разделы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту заявленной специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах» по следующим ее пунктам: 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; 10 – «Физическое и математическое моделирование трения и изнашивания»; 11 – «Термодинамика и самоорганизация трибосистем»; 13 – «Диагностика трибосистем».

Замечания по диссертации.

1) Предложенная автором (с. 102), интегральная взаимосвязь диссипативной составляющей трения (2.17) и степени диссипации (2.18) с физическими параметрами коэффициента демпфирования β и степенью демпфирования γ (с. 103) не выглядит однозначно убедительной, поэтому считаю, что указанные оценки могут использоваться для сравнительных оценок в достаточно узком диапазоне изменения параметров системы или процесса.

2) Смысл предложенной «интегральной оценки относительной величины потери стабильности» на с. 104 не вполне ясен и может применяться только в частном случае.

3) В табл. 2.8 на с. 166-168 не понятен смысл параметра «частота вращения чистого скольжения колеса по рельсу», а также мало обоснована рациональность его выбора.

4) Не вполне логичными в диссертационной работе выглядят ее разделы, относящиеся к аспектам автомобильного транспорта (с.120, рис.2.18; с.256, рис.3.44) и приводам бурильных машин (с.13).

5) Динамический мониторинг контакта «гребень колеса – боковая поверхность рельса» для режимов движения колёсных пар в криволинейных участках пути различного радиуса кривизны, выполненный на лабораторном стенде СМЦ-2, вряд ли можно принять считать корректным.

6) При осуществлении исследований влияния качества смазочных материалов для рельсосмазывания (раздел 3.4) желательно было бы

рассматривать для сравнения не конкретные торговые марки, а их физико-химические характеристики, что позволило бы оптимизировать и создать новые антифрикционные композиции. Также было бы полезно рассмотреть зарубежные аналоги таких материалов

7) При обработке результатов многофакторных экспериментов (с.176) исследований было бы желательно выполнить ранжирование степени влияния переменных факторов на получаемые значения выходных параметров, а также исследовать область экстремума.

8) В диссертации не вполне корректно употребляется термин «годограф Найквиста» (с. 54, 98, 181, 263). Более точным было бы использование такого термина как годограф комплексного коэффициента передачи или годограф амплитудно-фазово-частотной характеристики.

9) В третьей главе отсутствует оценка достоверности полученных результатов испытаний, например, приведенных на рис. 3.3, 3.4, 3.5 и др.; на большинстве графических зависимостей не указаны доверительные интервалы. Их наличие позволило бы в полной мере оценить достоверность получаемых результатов и повысить их ценность при формировании базы данных триботехнических и трибоспектральных характеристик.

10) Объем диссертации мог бы сокращен за счет более компактного изложения текста и удаления ряда малоинформативных иллюстраций и таблиц.

11) В списке использованной литературы ряд источников относится к тридцатым-семидесятым годам прошлого века (12,17,23,27,34,36,50,72 и т.д.); желательно было бы подробнее рассмотреть и зарубежные литературно-патентные источники, отражающий современный мировой уровень исследований по избранной автором тематике.

Несмотря на приведенные замечания, работа является законченным исследованием и по ней вполне можно принять следующее заключение.

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

Диссертация представляет собой завершенную 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.

Памфилов Евгений Анатольевич,
профессор кафедры «Машиностроение
и материаловедение» ФГБОУ ВПО
«Брянский государственный технический
университет», доктор технических наук,
заслуженный деятель науки РФ

E-mail: pamfilov@bgita.ru

