

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА**  
Д 218.010.02 на базе федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
«Ростовский государственный университет путей сообщения»  
по диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук  
аттестационное дело №

решение диссертационного совета № 7 от 24.10.2014

О присуждении Озябкину Андрею Львовичу, гражданину РФ учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Развитие теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта» по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» принята к защите 02 июля 2014 г., протокол № 2 диссертационным советом Д 218.010.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», РОСЖЕЛДОР, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, приказ № 714/нк от 02.11.2012 о создании диссертационного совета.

Соискатель, Озябкин Андрей Львович, 1968 года рождения, диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук «Снижение интенсивности изнашивания гребней колёс и рельсов путём обеспечения рациональных конструктивно-технологических характеристик систем лубрикации» защитил в 1999 году, в диссертационном совете Д 063.27.03, созданном на базе Донского государственного технического университета. Работает доцентом на кафедре «Транспортные машины и триботехника» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВПО РГУПС), РОСЖЕЛДОР с 1997 г. по настоящее время.

Диссертация выполнена на кафедре «Транспортные машины и триботехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», РОСЖЕЛДОР.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Шаповалов Владимир Владимирович, заведующий кафедрой «Транспортные машины и триботехника» ФГБОУ ВПО РГУПС.

Официальные оппоненты: Памфилов Евгений Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение и материаловедение» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»; Эркенов Ахмат Чокаевич – доктор технических наук, профессор, депутат Государственной думы Федерального Собрания РФ; Шульга Геннадий Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт и организация дорожного движения» ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова» – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского» РАН (г. Москва) в своём положительном заключении, подписанном Горячевой Ириной Георгиевной, академиком РАН, доктором физико-математических наук, заведующей лабораторией трибологии ИПМех РАН указала, что диссертация Озябкина А.Л. является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности систем динамического мониторинга фрикционных систем, безопасности эксплуатации железнодорожного транспорта.

дорожного подвижного состава. Соискатель Озябкин А.Л. заслуживает присвоения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.04.

Соискатель имеет по теме диссертации 64 опубликованные работы, все по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 19. В публикациях рассмотрены вопросы исследования, оптимизации, прогнозирования выходных трибохарактеристик фрикционных механических систем. Показано, что использование интегральных оценок амплитудо-фазочастотных характеристик позволяет идентифицировать состояние фрикционного контакта, его триботермодинамику и осуществить прогноз динамического поведения трибосистемы. Основные работы:

1. Шаповалов, В.В. Применение методов физико-математического моделирования и трибоспектральной идентификации для мониторинга фрикционных механических систем / В.В. Шаповалов, А.Л. Озябкин, П.В. Харламов // Вестник машиностроения. – 2009. – № 5. – С. 49–57. (авт. 0,28 п.л.).
2. Озябкин, А.Л. Теоретические основы динамического мониторинга фрикционных мобильных систем / А.Л. Озябкин // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011. – № 10. – С. 17–28.
3. Озябкин, А.Л. Оптимизация упруго-диссипативных связей и тяговых характеристик фрикционных мобильных систем / А.Л. Озябкин // Известия вузов. Сев.-Кав. регион. Технические науки. – 2011. – № 5 (163). – С. 74–81.
4. Озябкин, А.Л. Динамический мониторинг трибосистемы «подвижной состав – путь» / А.Л. Озябкин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 2. – С. 35–47.
5. Озябкин, А.Л. Динамический мониторинг триботермодинамики фрикционных мобильных систем / А.Л. Озябкин // Вестник Донского государственного технического университета. – 2011. – Т. 11, № 5(56). – С. 644–654.
6. Пат. № 2343450 РФ, МПК G01N 3/56. Способ испытаний узлов трения / В.В. Шаповалов, А.Л. Озябкин [и др.]. – № 2343450 ; заявл. 13.06.2006 ; опубл. 10.01.2009, Бюл. № 1 ; приоритет 13.06.2006, № 2006121024/28.

Кроме того, после оформления документов к защите диссертации опубликован патент РФ, не вошедший в число опубликованных автором работ:

7. Пат. № 2517946 РФ, МПК G 01 N 3/56 (2006.01). Способ динамического мониторинга фрикционных мобильных систем / В.В. Шаповалов, А.Л. Озябкин, П.В. Харламов [и др.]. – № 2517946 ; заявл. 05.04.2012 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16 ; приоритет 05.04.2012, № 2012113329/28.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы.

- **Ведущей организации** – ФГБУН «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского» РАН. Отзыв подписала зав. лаб. трибологии, академик РАН, д.ф.-м.н. Горячева Ирина Георгиевна. Отзыв утвердил Врио директора ИПМех РАН д.ф.-м.н., академик Черноуско Феликс Леонидович. Отзыв положительный. Замечания: **1)** Автор обращает внимание на то обстоятельство, что и в лабораторных условиях, и в процессе эксплуатации реализуемые в механических системах силы трения непрерывно изменяются при непрерывном изменении нормальных нагрузок. В результате взаимного перемещения контактирующих поверхностей трения возникают колебания микронеровностей (так называемых «активных микрообъёмов» материалов поверхностей трения, С.17, 19, 102 и др.). В работе не представлены модели взаимодействия «активных микрообъёмов» контактирующих тел. Как оценить величины масс и коэффициентов упругости этих «активных микрообъёмов» (С.102), а также число степеней свободы таких систем? **2)** Автор фактически всё многообразие случаев взаимодействия предлагает представить в виде некоторых комбинаций «активных микрообъёмов», характеризуе-

мых совокупностью колебательных звеньев (С.17). В то же время каждая из описанных выше комбинаций «активных микрообъёмов» описывается передаточной функцией (С.49) или частотной передаточной функцией (С.51...52 и 90), параметры которых изменяются в широких пределах и описывают контактное взаимодействие при трении. Такая формализация в принципе возможна для некоторой интегральной оценки потерь при известной структуре модели и небольшом количестве степеней свободы системы. Из работы не ясно, как практически определялись параметры передаточной функции колебательных звеньев (С.17, 49), а вопросы о структуре модели контактного взаимодействия и количестве её степеней свободы автором не раскрываются. **3)** Автором предлагается проект нового ГОСТа (С.208...212), который устанавливает метод оценки основных трибологических характеристик при смазывании твёрдыми смазочными материалами рабочих поверхностей «открытых» узлов трения конкретных механических систем. Однако методика оценки трибологических характеристик контакта иллюстрируется практическим примером (рис.3.19, табл.3.9), в котором использованы не все предложенные автором критерии (*а–ж*). **4)** Глава 4 посвящена эксплуатационным испытаниям, направленным на обеспечение безопасности движения подвижного состава и повышения надёжности, долговечности и эффективности фрикционных систем железнодорожного транспорта. Однако следует констатировать, что практическая апробация теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем в ней отсутствует. **5)** Результаты работы были бы более достоверны, если бы содержали также вероятностные оценки полученных трибоспектральных характеристик. **6)** В библиографическом списке отсутствуют некоторые современные фундаментальные работы в области динамики систем железнодорожного транспорта, в частности, отсутствуют ссылки на монографию Лисицына и Мугинштейна «Нестационарные режимы тяги».

- **Официального оппонента** – д.т.н., проф. Е.А. Памфилова (проф. каф. «Машиностроение и материаловедение» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»). Отзыв положительный. Замечания: **1)** Предложенная автором (с. 102), интегральная взаимосвязь диссипативной составляющей трения (2.17) и степени диссипации (2.18) с физическими параметрами коэффициента демпфирования  $\beta$  и степенью демпфирования  $\gamma$  (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 диссертации выглядят её 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 полу-

чаемые 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 главе 3 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)** Объём диссертации мог бы сокращён за счёт более компактного изложения текста и удаления ряда малоинформационных 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 зарубежные литературно-патентные источники, отражающие современный мировой уровень исследований по избранной автором тематике.

- **Официального оппонента** – д.т.н., проф. Эркенова А.Ч. (депутат Государственной думы Федерального Собрания РФ). Отзыв положительный. Замечания: **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 (по-перечного) 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 подпрыгивания. **3)** При создании расчётных моделей специализированного подвижного состава (С. 110) и двухосного транспортного средства (С. 121, 122) использованы разные математические обозначения демпфирующих связей (соответственно  $\beta$  и  $K$ ), парциальных коэффициентов сопротивления (соответственно  $n$  и  $h$ ). **4)** В диссертации 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 разового 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 колебательных 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 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, 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 на С.290...295 результаты трибоспектральной идентификации прочих фрикционных систем описаны очень скрупульно, 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 (прил.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 транспортном РФ и надеюсь, что в будущем будут предприняты попытки апробации результатов диссертации на натурном подвижном составе. **12)** Следует также отметить недостаточное отражение результатов исследований в зарубежных изданиях, входящих в список цитирования Scopus и Web of Science.

- **Официального оппонента** – д.т.н., профессора Г.И. Шульги (проф. каф. «Автомобильный транспорт и организация дорожного движения» ФГБОУ ВПО ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова). Отзыв положительный. Замечания: **1)** Автором рассматривается динамика различных механических систем каждой в отдельности и не рассмотрен вопрос взаимодействия таких систем при изменении нагрузки, различном типе подвижного состава. **2)** Не указывается, какая аппаратура используется для определения амплитудо-фазочастотных, трибоспектральных характеристик, триботермодинамических режимов трения и как осуществляется обратная связь для практического использования при возникновении в контакте фрикционной системы «колесо – рельс» аномальных режимов функционирования. **3)** Не приведены составы смазочных материалов для лубрикации системы «колесо – рельс», и не проведены сравнения с аналогами иностранного производства, поэтому не ясно, за счёт каких компонентов смазочного материала обеспечивается оптимальный коэффициент сцепления системы «колесо – рельс». **4)** Автором разработана шумоподавляющая фрикционная композиция МПТ-Ф-03-02. При её испытании не указаны скорость движения железнодорожного состава, расстояние, на котором устанавливались микрофоны для измерения шумовых характеристик. **5)** В прил. № 1 диссертации не дан пример практического расчёта уравнения теплопроводности. **6)** Из прил. № 2 не ясно, каким образом оперативно подаются при критических условиях управляющие сигналы для изменения нагрузочно-скоростных режимов железнодорожного состава и включение привода подачи модификатора трения. **7)** В списке литературы в источниках 104, 105, 2, 7, 9 и др. не указаны издательство, год или страницы.

На автореферат поступило 18 отзывов. Все отзывы положительные.

**1. Отзыв** д.т.н. проф. каф. механики Южного федерального университета. Бутенко В.И. Замечания: 1) не ясно, на основании каких предпосылок была составлена система дифференциальных уравнений (1); 2) не раскрыта сущность введённых функций сближения контактируемых поверхностей и постоянной точки равновесия.

**2. Отзыв** д.т.н., зав. лаб. «Методы смазки машин» ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН» Буяновского И.А. Замечание: отсутствие методик и алгоритмов для динамического мониторинга широко распространённых узлов трения, реализующих жидкостное трение, что, разумеется, сужает область явлений, которые могут быть рассмотрены на базе исследований диссертанта.

**3. Отзыв** д.т.н., академика Санкт-Петербургской Инженерной академии, проф. каф. инженерного проектирования ФГАОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» Войнова К.Н. Замечания: 1) Отсутствуют статистически обоснованные предельные

значения регистрируемых интегральных оценок (5) и (6) в октавных (долеоктавных) диапазонах частот, при превышении которых обосновано применение мехатронных систем управления нагрузочно-скоростными режимами. 2) Не совсем ясно, как вычисляется интегральная оценка относительной величины потери стабильности (с. 15) и её влияние на функционирование систем автоматического управления натурных систем. 3) Не отражён алгоритм функционирования систем автоматизированного управления нагрузочно – скоростными условиями эксплуатации или приводами подачи модификаторов трения. 4) Есть ряд стилистических незначительных замечаний.

**4. Отзыв** д.т.н., проф., зав. каф. «Автомобильный транспорт и организация дорожного движения» ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова». Гасанова Б.Г. Замечания. 1) Какое транспортное средство и тип тормозного механизма были выбраны для модельных исследований, анализа амплитудо-фазочастотных характеристик? 2) Каким образом осуществляется трибомониторинг модельной системы «диск – тормозные колодки» и, что является исходной информацией для анализа, какие использованы выходные значения для автоматизированного управления качением колеса? 3) Отсутствует методика практического введения информационных частотных каналов в существующие антиблокировочные системы сцепления.

**5. Отзыв** д.т.н. проф., директора научно-технического центра «Надёжность технологических, энергетических и транспортных машин» Самарского государственного технического университета Громаковского Д.Г. Замечания. 1) Некоторая нечёткость формулировок при использовании основных понятий механики включающих или исключающих отражение динамических процессов. Динамический мониторинг фрикционных систем однозначно предусматривает оценку особенностей контактного взаимодействия поверхностей деталей узлов трения, как при, так и без их относительного перемещения, а также оценку в этих ситуациях диссипативных и упругих характеристик. 2) Можно было бы более полно представить не только изменения во время эксплуатации амплитудных и фазочастотных характеристик исследованных объектов, но их связь с кинетикой повреждаемости, износом и контактной усталостью.

**6. Отзыв** д.т.н. проф. каф. «Механика и приборостроение» ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения» Каргапольцева С.К. Замечания. 1) Не в полной мере ясна сущность многовариантного физико-математического моделирования, а также цель сопоставления критерии подобия динамики механической системы (10) с критериями подобия динамики фрикционного контакта (с.17). 2) Не отражено применение интегральной оценки относительной величины потери стабильности (с.15) для решения практических задач динамического мониторинга фрикционных систем (с.20...35). 3) Из автореферата не ясно, как параметры частотной передаточной функции системы связаны с активными микрообъёмами (с.15), участвующими в трении; как оцениваются параметры масс активных микрообъёмов, участвующих в трении, эквивалентного коэффициента демпфирования и коэффициента упругих свойств контакта.

**7. Отзыв** д.т.н., проф. каф. «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей и оборудования» ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет» Касьянова В.Е. Замечания. 1) Не достаточно отражены вопросы сопоставления трибоспектральных характеристик (с.20...35) с наиболее апробированными на практике триботехническими параметрами – коэффициентом трения, интенсивностью изнашивания, микроструктурой поверхности трения и др. 2) Не приведена информация о том, какая натурная транспортная система была выбрана в качестве модельных исследований фрикционной подсистемы «диск – тормозные колодки» (с.31...35), а также какова вероятность полученных статистических оценок (рис.18). 3) Приведенные на

рис.19...21 амплитудно-фазово-частотные характеристики являются статистическими оценками спектральной плотности мощности. Известно, что при определении таких характеристик случайных процессов для обеспечения эргодичности используют усреднение по ансамблю реализаций. Возникает вопрос: какой вид статистического усреднения использован – усреднение по ансамблю реализаций или по одной выборочной реализации, усреднением по времени?

**8. Отзыв** и.о. зав. каф. «Механика и инженерная графика» Самарского государственного университета путей сообщения\_к.т.н., доц. Свечникова А.А., д.т.н., проф. каф. «Механика и инженерная графика» Кудюрова Л.В. и д.т.н., проф. Карышева Ю.Д. Замечание: проектирование таких сложных систем мониторинга немыслимо без разработки продуктов для ЭВМ, а из автореферата не понятно, есть ли зарегистрированные авторские программные продукты?

**9. Отзыв** д.т.н., ведущего конструктора Проектно-конструкторско-технологического бюро железнодорожной автоматики и телемеханики – филиала ОАО «РЖД» Кобзева В.А. Без замечаний.

**10. Отзыв** д.т.н., проф., зав. трибологическим НОЦ Ивановского государственного университета, заслуженного деятеля науки и техники РФ Латышева В.Н. Замечания. 1) Отсутствуют результаты трибологических исследований процессов трения – коэффициента трения, интенсивности изнашивания и др. при введении во фрикционный контакт смазочных материалов фрикционного или антифрикционного назначений. 2) Не указаны вероятностные оценки полученных автором трибоспектральных характеристик.

**11. Отзыв** д.т.н., проф., зав. каф. «Технология машиностроения» Института мехатроники и информационных технологий при ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии» Прокопенко А.К. Замечания. 1) В автореферате автором указывается на наличие противоречий, возникающих при определении масштабных коэффициентов подобия сил контактного взаимодействия, масс, жесткостных и демпфирующих характеристик механических подсистем. Осталось не ясным, отражается ли решение противоречий на идентичности физических параметров, определяющих упруго – диссиPATивный характер формирования динамических и фрикционных связей в подсистемах модели и натуры, т.к. их соотношение определяют приведенные в работе спектральные характеристики трибосистем. 2) Не ясно, как влияет применение модификаторов трения фрикционного и антифрикционного назначений на формирование частотного состава сил фрикционного взаимодействия, применительно к гипотезе о термодинамической природе фрикционных автоколебаний.

**12. Отзыв** д.т.н., проф. каф. «Технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет». Рубанова В.В. Замечания. 1) Необходимость ограничить область исследований автора механических систем с открытыми узлами трения. 2) Отсутствие раздела экономического обоснования и апробации на практике предложенных в диссертационном исследовании методов динамического мониторинга фрикционных систем.

**13. Отзыв** д.т.н., проф. каф. «Инструментальное производство» ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», заслуженного деятеля науки и техники РФ Рыжкина А.А. Замечания. 1) На с. 17 не указана проблема, для чего выполняется сопоставление критериев подобия динамики механической системы (10) с критериями подобия динамики фрикционного контакта. 2) Предложенная автором методика определения максимальных контактных температур (с. 18...19) имеет ограниченные рамки применения, так как установить две термопары для их регистрации вблизи фрикционного контакта не всегда представляется возможным. 3) Показано, что для идентификации максимальной контактной температуры на выступах активных микро-

объёмов  $\Theta_1$  необходимо знать шероховатости  $R_a$  и наибольшей высоты профиля  $R_{max}$ . Однако в динамике формирования режимов термодинамики указанные параметры постоянно изменяются. Возникает следующий вопрос: как при реализации методов динамического мониторинга фрикционных систем автором решается проблема контроля параметров шероховатости поверхностей трения в реальном времени?

**14. Отзыв** д.т.н., проф. зав. каф. логистики и промышленного транспорта, зам. декана факультета транспорта Силезского технического университета (Польша, г. Катовице), почётного проф. УрГУПС, академика РАТ Сладковски А. Замечание: недостаточная презентация достижений автора в зарубежных изданиях. В списке публикаций присутствует только одна позиция (№ 40), опубликованная в трудах международной конференции “Transport Problems”.

**15. Отзыв** д.т.н., проф. зав. каф. «Машиноведение и основы конструирования» ФГАОУ ВО «Санкт- Петербургский государственный политехнический университет» Скотниковой М.А. Замечание: в работе автором были проведены интересные исследования и представлены на рис. 15 (см. стр. 27) результаты влияния на мощность трения объёмной температуры и частотных диапазонов фрикционного взаимодействия. Видно, что нормальное распределение мощности трения характерно установлению равновесной шероховатости, отсутствию термоповреждений, а экспоненциальное – происходящим термоповреждениям с выделением тепла. Однако из текста автorefерата непонятно, как учитывались контактные напряжения и теплофизические свойства контактирующих материалов.

**16. Отзыв** д.т.н., проф. каф «Теоретическая и компьютерная гидроаэrodинамика» института математики, механики и компьютерных наук ЮФУ Снопова А.И. Замечание: отсутствие рекомендаций автора по использованию теоретических и методологических подходов, раскрытых в автorefерате, для исследования других фрикционных систем, в частности, в области гидроаэrodинамики движения и взаимодействия жидкостей и газов с различными телами при их относительном движении.

**17. Отзыв** ген. директора Управляющей организации ООО «Путевые машины» Фендрикова А.А. и гл. конструктора ОАО «Тихорецкий машиностроительный завод им. В.В. Воровского» Коробейникова Т.А. Замечания. 1) В автorefерате следовало привести результаты расчёта статистической вероятности собранной автором базы трибоспектральных характеристик, на основе которой можно было утверждать о достоверности полученных результатов динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта. 2) Отсутствуют результаты экономической целесообразности внедрения системы динамического мониторинга открытых узлов трения «колесо – рельс» в бортовую систему тягового подвижного состава.

**18. Отзыв** д.т.н., проф. зам. управляющего директора ОАО «Роствертол» Флека М.Б. Замечание: недостаточно раскрытый в автorefерате способ получения идентификационных оценок формирования упруго-диссипативных связей во фрикционном контакте, определения граничных амплитудных значений регистрируемых спектральных оценок в октавных диапазонах частот, позволяющих осуществлять задачи динамического мониторинга фрикционных систем не только железнодорожного транспорта, но и других, в том числе – воздушного.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их значительной публикационной активностью; достижением ряда фундаментальных результатов в рассматриваемой области исследований моделирования фрикционного взаимодействия деформируемых тел, трибодинамики колёс и рельсов, контактно-усталостной повреждённости колёс и рельсов, трения и изнашивания поверхностей трения, разра-

ботки антифрикционных материалов, применения смазочных материалов, обеспечения работоспособности соединений механических систем; непосредственной причастностью к специальности, по которой происходила защита диссертации; наличием опыта работы в транспортной системе страны, наличием учёных степеней и правилами положений ВАК Минобрнауки РФ.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований**

– разработаны: 1) комплекс методик физико-математического многовариантного моделирования, трибоспектральной идентификации и триботермодинамики, позволяющий количественно и качественно установить закономерности процессов трения, протекающих в тяжелонагруженных узлах трения; 2) теоретический и методический подходы к анализу процессов трения и изнашивания во фрикционном контакте, позволяющие развить положения динамического мониторинга состояния фрикционных систем в процессе их функционирования;

– предложены: 1) нетрадиционный подход к оценке упруго-диссипативной природы процессов трения на основе анализа амплитудно-фазочастотных характеристик в октавных (долеоктавных) диапазонах частот интегральными оценками; 2) научная гипотеза о том, что максимальная объёмная температура контактирующих поверхностей изменяется по закону логарифмического декремента затухания как функция макро- и микрогеометрии поверхностей трения;

– доказана: 1) корректность и информативность методики экспериментальной триботермодинамики по идентификации максимальных контактных температур, аномальных режимов термического и (или) атермического видов схватывания поверхностей трения; 2) закономерность влияния нагрузочно-скоростных условий контактирования, отсутствия (присутствия) модификаторов трения, напряжённо-деформированного или пластического состояния поверхностей трения на регистрируемые колебательные состояния фрикционных систем, амплитудно-фазочастотные характеристики и интегральные оценки в октавных (долеоктавных) диапазонах частот;

– введены: 1) расширенные области применения критерия Г. Найквиста применительно к устойчивости формирования динамических связей во фрикционном контакте, интегральных оценок запасов устойчивости по амплитуде и фазе; 2) ряд интегральных оценок амплитудно-фазочастотных характеристик, позволяющих характеризовать соотношение диссипативных и упруго-инерционных составляющих фрикционного взаимодействия.

**Теоретическая значимость** исследования состоит в том, что:

– доказаны: 1) необходимость учёта взаимовлияния динамических процессов, протекающих в механической подсистеме и во фрикционном контакте; 2) эффективность применения частотных передаточных функций и анализа амплитудно-фазочастотных характеристик при помощи интегральных оценок в октавных (долеоктавных) диапазонах частот для решения задач динамического мониторинга фрикционных систем, что позволяет расширить представления о процессах трения при трении качения, трении качения с проскальзыванием и трении скольжения, а также раздвинуть границы применимости полученных результатов не только для железнодорожного, но и других видов транспортных средств;

– применительно к проблематике диссертации результативно **использован**: комплекс существующих методов исследования, в том числе цифровой обработки экспериментальных данных: спектрального и корреляционного анализа, использующих базовые положения теории колебаний, нелинейной динамики систем с конечным числом степеней свободы, быстрого преобразования Фурье, частотных передаточных функций,

физико-математического моделирования, трибоспектральной идентификации процессов трения, математической статистики, математического планирования эксперимента, экспериментальной триботермодинамики, динамического мониторинга процессов, протекающих в открытых узлах трения;

– **изложены:** 1) этапы формирования фрикционных связей в контактной области трения при изменении нагрузочно-скоростных условий, тенденции в изменении регистрируемых амплитудно-фазочастотных характеристик сил взаимодействия, их интегральных оценок в октавных диапазонах частот; 2) экспериментальные подтверждения непротиворечивости рабочей гипотезы экспериментальной триботермодинамики о том, что объёмная температура в контактной области трения изменяется от максимальных до минимальных величин по закону логарифмического декремента затухания;

– **раскрыты:** существующие противоречия, возникающие при определении констант подобия сил контактного взаимодействия поверхностей трения фрикционных систем;

– **изучена** связь кинетики повреждаемости, развития температурных градиентов, контактной усталости поверхностей трения с регистрируемыми амплитудно-фазочастотными характеристиками сил взаимодействия контактирующих микронеровностей поверхностей трения и их интегральными оценками в октавных (долеоктавных) диапазонах частот, устойчивостью формирования фрикционных связей, что позволило решить задачи динамического мониторинга фрикционных систем;

– **проведена модернизация:** 1) существующих математических моделей взаимодействия активных микрообъёмов контактирующих поверхностей трения, 2) алгоритмов динамического мониторинга фрикционных систем, 3) численных методов регистрации колебательных состояний фрикционных систем, обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации.

**Значение полученных соискателем результатов** исследования для практики подтверждается тем, что:

– **разработаны:** 1) единая система мониторинга подсистемы «тяговая колёсная пара – рельс» по стабилизации коэффициента сцепления и предотвращению боксования колёсных пар, а также по уменьшению потерь тяговой энергии в криволинейных участках пути; 2) способ оценки триботехнических характеристик смазочных материалов, применяемых в тяжелонагруженной трибосистеме «гребень колеса – рельс»; 3) способ повышения устойчивости и безопасности эксплуатации специализированного подвижного состава на базе модельной оптимизации упруго-диссипативных и инерционных связей; 4) способ снижения уровня акустического шума, возникающего при взаимодействии колёсных пар грузовых вагонов с тормозными шинами на механизированных сортировочных горках, до величин, регламентированных СНиП для железнодорожных станций, включающий модifikator поверхности трения и устройство для его нанесения; 5) методика динамического мониторинга дисковых тормозных механизмов, повышающая надёжность и эффективность транспортных систем; 6) методика динамического мониторинга подшипников привода бурильных машин; 7) методика динамического мониторинга резьбовых соединений тормозных магистралей подвижного состава;

– **внедрены:** 1) метод модельной оптимизации эксплуатационных характеристик специализированного подвижного состава при запуске в серийное производство Тихорецкого машиностроительного завода им. В.В. Воровского машины серии МПТ-Г; 2) на весное оборудование для модификации тяговых колёс локомотива ВЛ80 № 3002 и № 1286 с помощью брикетов активизатора сцепления; 3) технологии гребнерельсосмазывания твёрдыми смазочными покрытиями фрикционной системы «гребень колеса – рельс» железнодорожного подвижного состава и конструкции гребнерельсосмазывателей ГРС-20.07, установленных на локомотивах серии ВЛ-80; 4) конструкция гребнесма-

зывателя кассетного типа с бесприводной системой подачи (ГРС 50.05) на серийно выпускаемых Тихорецкого машиностроительного завода им. В.В. Воровского мотовозах МПТ-6; 5) конструкции ППС-12Д с оптимизированными упруго-диссипативными связями и двухкоординатным демпфированием на немеханизированной сортировочной горке ст. Тихорецкая Северо-Кавказской дирекции управления движением, предназначенные для предотвращения термоповреждений колёсных пар грузовых вагонов и образования односторонних ползунов; 6) экспериментальное устройство УМПТ-Ф для нанесения модификатора поверхности трения для снижения уровня шума при роспуске вагонов на механизированных сортировочных горках дистанции пути ПЧ-4 ст. Батайск Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД) – филиала ОАО «РЖД»;

– **определенны:** пределы и перспективы практического использования теоретических и экспериментальных исследований открытых узлов трения (на примере подсистем «колесо-рельс» железнодорожного транспорта и «диск-тормозные колодки» транспортного средства) не только для железнодорожного транспорта, но и других транспортных систем, в которых фрикционные системы эксплуатируются под влиянием значительных нагрузочно-скоростных условий и факторов окружающей среды;

– **представлены:** практические рекомендации по повышению надёжности фрикционных систем, снижению интенсивности изнашивания гребней колёсных пар железнодорожного подвижного состава и рельсов, увеличению ресурса их эксплуатации, снижению уровней динамического воздействия во фрикционном контакте, повышения величины и стабильности коэффициента сцепления колёсных пар локомотивов с рельсами;

– **созданы:** 1) методические рекомендации по использованию теории и методов динамического мониторинга мобильных трибосистем для использования в учебном процессе при выполнении практических занятий на экспериментальных комплексах «подвижной состав-путь» по ряду дисциплин федерального государственного отраслевого стандарта специальностей 151600 «Прикладная механика», 190109 «Наземные транспортно-технологические средства»; 2) рекомендации для последующего уточнения, развития теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного и др. видов транспорта.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила, что новые научные результаты, полученные в диссертации, подтверждаются корректностью разработанных моделей, использованием известных положений фундаментальных наук, сходимостью результатов теоретических исследований с данными эксплуатации ряда фрикционных подсистем железнодорожного транспорта, апробацией на сети дорог ОАО РЖД (СКЖД, Восточно-Сибирской железной дороге, Горьковской, Куйбышевской и др.), в ходе реализации отраслевой научно-исследовательской работы по теме 19.5.002.Р «Оптимизация ширины рельсовой колеи».

Достоверность новизны технических решений подтверждается полученными патентами 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»:

– **для экспериментальных работ** показана воспроизводимость результатов исследований на физических стендах, моделирующих натурный подвижной состав, при изменении геометрического масштаба с использованием сертифицированных тензометрического прибора ZET 017-T8 и анализатора спектра ультразвукового диапазона А19-U2, выпускемых ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы» (124498, г. Москва, г. Зеленоград, проезд 4922, д. 4, стр. 5). Сертификат выдан Федеральным Космическим Агентством 25.06.2014 в соответствии требований ГОСТ ISO

9001 - 2011, положений РК-98-КТ, РК-11-КТ, ГОСТ СРПП ВТ, включая ГОСТ РВ 0015-002-2012, и ОСТ 134-1028-2012;

– **теория** построена на известных положениях теории физического и математического моделирования, планирования эксперимента, математической статистики и экспериментальных данных, трибоспектральной идентификации процессов трения, соглашается с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

– **идея базируется** на обобщении передового опыта в создании средств динамического мониторинга фрикционных систем, активной безопасности транспортных систем;

– **использованы результаты** исследований д.т.н., проф. В.Л. Заковоротного, д.т.н., проф. В.В. Шаповалова, д.т.н., проф. П.Н. Щербака, полученные ранее по рассматриваемой тематике;

– **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, реализуемые в программном обеспечении ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы», а также собственные программные продукты сбора и обработки исходной информации, позволившие получить результаты диссертационного исследования.

**Личный вклад соискателя состоит:** в постановке задач исследований; в непосредственном участии соискателя в получении исходных данных и научных экспериментах; в личном участии в апробации результатов исследования; в разработке программного обеспечения, реализующего методики анализа размерностей физических параметров с ограничениями физико-математического моделирования, ортогонального центрального композиционного плана второго порядка математического планирования эксперимента, расчёта частот и форм собственных колебаний элементов кинематических схем, цифровой обработки сигналов, корреляционного и спектрального анализа данных, реализующей основные выводы по диссертационной работе; в обработке и интерпретации экспериментальных данных, выполненных лично автором; в подготовке основных публикаций по выполненной работе.

На заседании 24 октября 2014 г. диссертационный совет пришёл к выводу, что диссертация Озябкина Андрея Львовича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой разработаны новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности систем динамического мониторинга фрикционных систем, безопасности эксплуатации железнодорожного подвижного состава, что внесёт 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», и принял решение присудить Озябкину Андрею Львовичу учёную степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах», участвующих в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени - 16, против – нет, недействительных бюллетеней - 1.

Председатель диссертационного совета  
Д 218.010.02 академик РАН

Колесников Владимир Иванович

И.о. учёного секретаря диссертационного  
совета Д 218.010.02 д.т.н., профессор

Щербак Пётр Николаевич

«31» октября 2014 г.

