

УТВЕРЖДАЮ



Врио директора ИПМех РАН

д.ф.-м.н., академик

Ф.Д. Черноусько

2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН) 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».

1. Актуальность темы диссертационной работы

В связи с интенсивным развитием транспортных систем, в том числе, железнодорожного, повышения скоростей их движения, нагрузочных режимов во фрикционных системах требуются новые подходы к решению задач по обеспечению максимальных уровней их безопасности, надёжности и экономической эффективности.

Механические системы железнодорожного, автомобильного и др. видов транспорта включают в свой состав узлы трения, надёжность и эффективность которых определяют основные технико-экономические и экологические

показатели, уровни безопасности реализации перевозочного процесса. Ключевую роль при этом играют информационные системы мониторинга транспортных систем, способствующие формированию баз идентификационных данных, позволяющих постоянно контролировать состояния вышеперечисленных систем и прогнозировать их изменения. Однако в большинстве случаев существующие системы мониторинга не позволяют: а) учитывать сложную нелинейную зависимость выходных параметров фрикционных систем от большого количества взаимозависимых и взаимовлияющих факторов, б) разделять и анализировать упруго – диссипативные процессы, протекающие в зоне фрикционного контакта. Указанные выше процессы в контактной области определяют триботехнические характеристики узлов трения и, в конечном счёте, состояние всей механической системы, в частности железнодорожного транспорта.

Как отмечается автором, колебания триботехнических характеристик, особенно в режимах сухого и граничного трения, охватывают широкий частотный диапазон. В некоторых случаях изменение коэффициента трения может происходить от нуля до значительных величин (С. 44), что может спровоцировать формирование крайне аномальных состояний фрикционных систем железнодорожного транспорта (например, термоповреждений пар трения, срыв сцепления колёс локомотивов, потерю тяговой мощности, устойчивости и т.д.). В большинстве существующих систем мониторинга отсутствуют диагностические параметры, позволяющие оценивать диссипативные потери энергии в динамике взаимодействия контактирующих поверхностей узлов трения. Именно динамика формирования фрикционных связей на пятнах фактического контакта определяет характер взаимодействия и существенно влияет на трибологические характеристики рассматриваемого узла трения. Данное положение является существенным в развитии теории и методов исследования процессов трения, разработке алгоритмов и методов диагностики состояния фрикционных систем, прогнозирования их изменений.

В связи с вышесказанным, развитие теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта направлено на повышение точности, оперативности и информативности идентификационных

признаков, предназначенных для комплексных исследований процессов трения, разработки эффективных методов моделирования фрикционных систем, методов контроля состояния выходных трибохарактеристик, прогнозирования их изменения и управления свойствами трибоконтакта.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации

В работе на основе изучения состояния вопроса и поисковых исследований установлены теоретические, методологические, экспериментальные закономерности, программные и конструктивные решения, способствующие развитию методов динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта, то есть непрерывного систематического сбора и обработки диагностической информации (исследования процессов трения, контроля текущих трибопараметров узлов трения и прогнозирования их изменения) как инструмента обратной связи для решения задач исследований, оптимизации, прогнозирования и управления.

При изучении состояния вопроса (положений теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем) выявлено отсутствие в существующих системах мониторинга диагностических средств регистрации диссипативных связей во фрикционном контакте, так как они отражают колебания только по одной координате фрикционного взаимодействия транспортной системы. Автором указано, что для повышения достоверности средств динамического мониторинга в контактной области необходимо регистрировать колебания сил фрикционного взаимодействия как минимум в нормальном и тангенциальном направлениях, что позволяет решить поставленные в работе цель и задачи исследований.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в следующем:

1. С использованием положений физико-математического моделирования сформулированы принципы исследования и синтеза динамических характеристик натурных транспортных систем, состоящих из механических и фрикционных подсистем, взаимодействующих между собой через узел трения. В динамическую

модель квазилинейной механической подсистемы вводится модель реального фрикционного контакта, динамические характеристики которого определяются на основе представления сил контактного взаимодействия в координатах состояния, доступных для измерения. Это позволяет на основе модельного эксперимента анализировать трибохарактеристики натуральных узлов трения с учётом взаимовлияния процессов, протекающих в механических и фрикционных подсистемах, и существенно дополнить известные методы экспериментального исследования процессов трения на физических моделях.

2. Предложен ряд интегральных оценок, определяемых на основе анализа спектральных характеристик сил нормального и тангенциального контактного взаимодействия. Наблюдение и изучение вышеназванных интегральных оценок, соответствующих изменениям комплексного коэффициента трения ($f = a + bi$), характеризующего соотношение упруго-инерционных и диссипативных сил фрикционного взаимодействия, в наиболее информативных октавных (долеоктавных) полосах частот позволяет качественно и количественно определять значения текущей работы и (или) мощности необратимых изменений подводимой энергии в узле трения. На этой основе предложены методы, способы и алгоритмы динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта.

3. Раскрыта связь необратимых процессов, протекающих во фрикционном контакте, с регистрируемыми амплитудно-фазово-частотными характеристиками преобразования нормальных составляющих сил контактного взаимодействия в тангенциальные и выходными триботехническими характеристиками фрикционных систем. Показана возможность оценки: значений объёмных температур в контактной области, динамики формирования аномальных режимов контактного взаимодействия, неуправляемого движения. Количественное и качественное сопоставление оценок объёмных максимальных температур с трибоспектральными характеристиками процессов трения позволяет создать новые, не имеющие аналогов, алгоритмы динамического мониторинга натуральных фрикционных систем.

4. Обоснована эффективность использования методов многовариантного

физико-математического моделирования, трибоспектральной идентификации процессов трения и экспериментальной триботермодинамики при совместном анализе параметров термодинамики и трибоспектров сил фрикционного взаимодействия модельного и натурного объектов. Разработана инструментальная база (алгоритмы и программное обеспечение) динамического мониторинга натуральных фрикционных систем.

Теоретические и экспериментальные исследования, разработанные методологические подходы могут служить инструментом для повышения надёжности, эффективности и безопасности эксплуатации фрикционных систем железнодорожного транспорта, в частности, механических систем с фрикционными узлами при сухом и граничном трении.

3. Значимость полученных результатов для науки и производства

В диссертационной работе автором развиты научные подходы, сформулированные В.И. Колесниковым, В.В. Шаповаловым, П.Н. Щербаком и др., к исследованию механических мобильных систем с узлами трения, позволяющие учитывать нелинейную взаимосвязь и взаимовлияние внешних возмущающих воздействий и динамических процессов, протекающих в механической системе и во фрикционном контакте.

Наиболее важными и значимыми для науки результатами являются:

а) развитие автором методов физико-математического моделирования фрикционных систем, методов трибоспектральной идентификации процессов трения, методов термодинамики поверхностей трения и методов оценки устойчивости фрикционных связей в «открытых» узлах трения транспортных систем (колесо-рельс, тормозной механизм), характеризующихся эксплуатацией в широких климатических условиях, подверженных воздействию окружающей среды, продуктов реализации перевозочного процесса и т.д.;

б) представление коэффициента трения в виде комплексной функции, имеющей амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики, что позволило дать количественную и качественную оценку взаимовлияния параметров механической системы и характеристик узла трения на устойчивость

формирования динамических связей во фрикционном контакте и всей механической системы в целом;

в) разработка ряда интегральных характеристик, удобных для использования в системах автоматизированного управления нагрузочно - скоростными режимами эксплуатации подвижного состава или в системах привода подачи смазочных материалов фрикционного или антифрикционного назначения для обеспечения требуемых характеристик трибоконтакта.

Результаты работы, а также полученные в ней выводы и рекомендации обоснованы и широко апробированы на практике; многие из них уже внедрены на ряде предприятий ОАО «Российские железные дороги». В частности, к ним относятся:

а) технология гребне- рельсосмазывания методом нанесения твёрдых смазочных покрытий;

б) технология подачи модификаторов трения на тяговую поверхность колёсных пар локомотивов;

в) технология предотвращения температурных повреждений колёсных пар вагонов на немеханизированных сортировочных горках;

г) технология понижения или устранения акустических шумов, возникающих на механизированных сортировочных горках при взаимодействии колёсных пар грузовых вагонов с шинами тормозных позиций;

д) определение рациональных параметров рессорного опирания специализированного подвижного состава.

Кроме того, результаты исследования используются в учебном процессе при подготовке бакалавров, специалистов и магистров в области прикладной механики.

4. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты диссертационной работы имеют важное практическое значение при совершенствовании существующих алгоритмов работы систем автоматического управления фрикционных систем железнодорожного

транспорта. Могут быть использованы: для продолжения соответствующих исследований в научных коллективах железнодорожных ВУЗов Российской Федерации, а также при проектировании нового и совершенствовании существующего тягового подвижного состава в проектно – конструкторских бюро машиностроительных заводов, в частности, ОАО «Тихорецкого машиностроительного завода им. В.В. Воровского», ОАО «Новочеркасского электровозостроительного завода» и других, а также в дирекциях инфраструктуры и тяги ОАО «Российские железные дороги».

Результаты, изложенные в первом выводе исследований (с. 326 диссертации) показывают, что динамический мониторинг фрикционных систем основан на следующих положениях:

- реализации динамической системы трения, состоящей из механических и фрикционных подсистем, взаимодействующих между собой через динамическую связь, формируемую процессом трения;
- динамическая связь интерпретируется как зависимость сил контактного взаимодействия в узле трения, которые представляются в координатах состояния взаимодействующих подсистем;
- в качестве координат состояния рассматриваются упругие деформационные смещения в подвижной системе координат, в вариациях относительно выбранной точки равновесия.

Перечисленные выше положения определяют направления развития теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем.

Во втором выводе подчёркивается, что при создании физических моделей натуральных объектов железнодорожного и других видов транспорта динамические характеристики указанных ранее взаимодействующих подсистем должны быть подобны характеристикам натурной транспортной системы. Введённые автором критерии подобия дополняют известные критерии подобия, рассматривающие трибосистему в квазистатическом состоянии.

Третий вывод отражает методологические основы оценки упруго-диссипативных характеристик и текущих характеристик мощности необратимых преобразований в контактной области, учёта взаимовлияния динамики

механических и фрикционных подсистем с целью повышения информативности, точности и оперативности динамического мониторинга транспортных систем.

Четвёртый и пятый выводы позволяют формировать критерии выбора чувствительности и быстродействия используемых на практике систем автоматизированного управления нагрузочно – скоростными условиями эксплуатации фрикционных систем или приводами подачи модификаторов трения во фрикционный контакт на основе информационных моделей анализа интегральных оценок частотных передаточных функций.

Шестой и седьмой выводы устанавливают ряд закономерностей термодинамики формирования фрикционных связей, которые позволяют оценить распределение температур в контактной области при различных показателях динамики подвижного состава.

Эффективность теоретических и экспериментальных результатов исследований и их практическая реализация изложены в восьмом выводе.

5. Структура, содержание диссертационной работы и её завершённость

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, общих выводов, библиографии из 255 наименований и 7 приложений. Она изложена на 398 страницах машинописного текста, включает 33 таблицы и 137 рисунков. Основное содержание изложено на 329 страницах текста.

В логической последовательности представлены анализ состояния вопроса и постановка научной проблемы (глава 1), теоретические (глава 2), экспериментальные (глава 3) и эксплуатационные (глава 4) исследования, анализ и сопоставление их результатов. Список авторских публикаций состоит из 64 научных работ, в том числе 19 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 6 патентов на изобретение, 6 монографий, 1 отчёт по НИР.

Качественному изложению глав и разделов диссертации способствовала систематическая работа автора по подготовке публикаций, которые полностью отражают все разделы работы. Результаты работы апробированы на международных, всероссийских и региональных научных и научно практических конференциях. Последовательность и содержание основных выводов по работе

соответствуют поставленным задачам, свидетельствуют о полноте их решения, достижения поставленной цели и эффективного решения задач исследований. В работе имеются акты о внедрении результатов диссертационного исследования на сети дорог ОАО «РЖД».

Основные положения работы, выводы и результаты представлены в автореферате.

6. Основные замечания по работе

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. В представленной работе автор фактически всё многообразие случаев взаимодействия предлагает представить в виде некоторых комбинации «активных микрообъёмов», характеризующих 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. Четвёртая глава диссертационной работы 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. Следует также отметить, что 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».

7. Заключение по работе

Работа Озябкина Андрея Львовича «Развитие теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта», представленная на соискание учёной степени доктора технических наук, является законченной научно – квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором теоретических, экспериментальных и эксплуатационных исследований разработаны новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на обеспечение 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».

Диссертационная работа соответствует требованиям постановления правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., положения п. 9 «О порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Озябкин Андрей Львович, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах».

Отзыв на диссертационную работу и автореферат обсуждён на семинаре лаборатории трибологии ИПМех РАН, протокол № 6 от 18 сентября 2014 г.

Заведующая лабораторией

трибологии ИПМех РАН

д.ф.-м.н., академик

Тел.: (495) 434-36-92

E-mail: goryache@ipmnet.ru



Ирина Георгиевна Горячева

Адрес: Российская Академия Наук. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского» Российской Академии Наук (ИПМех РАН), 119526, г. Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 1, Тел.: (495) 434-00-17, Факс: 8-499-739-95-31