

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Ростовский государственный
университет путей сообщения»
д.т.н., профессор
Гуда Александр Николаевич

«17» сентября 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» на диссертационную работу Ващишиной Анны Павловны на тему «Повышение износостойкости гребня бандажа колеса локомотива улучшением антифрикционных свойств пластичного смазочного материала», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3 «Трение и износ в машинах»

1. Актуальность работы.

Контакт колеса с рельсом представляет собой важный аспект железнодорожного транспорта, имеющий значительное научное и практическое значение. Проблема износа колес и рельсов в железнодорожных системах России, особенно на крутых поворотах и в условиях интенсивной эксплуатации, становится всё более актуальной. Существующие методы защиты, такие как смазка поверхности и плазменное упрочнение, позволяют снизить износ, но не решают проблему полностью. В условиях переменчивой окружающей среды, где воздействие грязи, влаги и частиц на трение неизбежно, поддержание оптимального уровня износостойкости является сложной задачей.

Износ колесных пар и рельсов приводит к частым ремонтам и повышенным эксплуатационным расходам. На данный момент, согласно имеющимся данным, стандартная обточка гребня колеса должна осуществляться каждые 100 тысяч километров пробега, но на практике это происходит значительно чаще. Это связано с интенсивным износом, особенно в кривых участках, что, в свою очередь, увеличивает затраты на обслуживание и ремонт. Например, перебандажировка одной пары колес может стоить до 25 тысяч рублей, и повышение износостойкости даже на 10 % может существенно сократить эти расходы, потенциально экономя более 10 млн рублей в год.

Таким образом, актуальность исследования заключается в необходимости

значительно улучшить эксплуатационные характеристики колес и рельсов. Эффективное решение данной проблемы позволит не только сократить затраты на ремонт и обслуживание, но и повысить общую безопасность и надежность железнодорожного транспорта.

Исследование, предложенное автором, направлено на углубление понимания процессов трения и износа, прогнозирования межремонтного пробега, а также на разработку новых методов защиты, что является крайне важным для современной железнодорожной инфраструктуры и экономики в целом.

2. Структура и содержание диссертационной работы. Работа представлена логичной структурой и состоит из последовательных глав и параграфов, соответствующих поставленной цели и задачам исследования.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы. Работа изложена на 155 страницах машинописного текста, содержит 29 таблиц, 68 рисунков и список литературы, включающий 212 наименований.

Во **введении** подробно обоснована актуальность исследуемой темы, описаны проблемы, связанные с износом колес подвижного состава в железнодорожном транспорте. Автор четко сформулировал цель работы, которая заключается в повышении износостойкости гребня бандажа колеса локомотива подбором присадок к смазочному материалу с улучшенными антифрикционными свойствами.

Первая глава «Триботехническая система колесо-рельс» представляет собой аналитический обзор по теме исследований, который охватывает описание пары трения гребень колеса-рельс, а также свойства и процесс изготовления смазочных материалов с присадками. В данной главе также проведен анализ трибосистемы, рассмотрены взаимодействие и механизмы трения в системе гребень колеса и рельс. Особое внимание уделено анализу смазочных материалов, применяемых в железнодорожном транспорте, с акцентом на их характеристики и влияние на износ. Рассмотрены существующие модели прогнозирования износа, а также проанализированы способы повышения износостойкости и применяемые присадки для улучшения эксплуатационных свойств. Результаты анализа актуальной информации позволили четко сформулировать цель и задачи исследования. Описаны существующие методы защиты колесной пары, такие как смазка и плазменное упрочнение, а также подчеркнута необходимость дальнейшего улучшения этих методов для сокращения затрат на обслуживание и повышения безопасности.

Во **второй главе** «Методика проведения исследований» автор подробно излагает методическое обеспечение проведения экспериментальных исследований, связанных с оценкой смазочного материала и материала гребня колеса локомотива. Автор отмечает, что важным аспектом работы является использование современных установок и тщательный анализ их характеристик, условия проведения эксперимента, приближенные к реальным, в частности, химический анализ смазочного материала.

В работе рассмотрены теоретические основы, такие как теории граничного трения, водородного и механического изнашивания, а также проведен

корреляционный анализ. Исходными данными для расчетов служили значения износа поверхностей пары трения, масса изношенных частиц, интенсивность выделения водорода, графики зависимости износа гребня колеса локомотива от пути трения, вязкость смазочного материала с присадками и графики зависимости динамической вязкости от температуры испытаний, коэффициент трения смазочного материала с присадками, а также графики зависимости коэффициента трения от вязкости смазочного материала и площадь контакта поверхностей трения.

Также рассмотрены методы и условия проведения экспериментов, включая выбор пластичного смазочного материала. Автор описывает процесс изготовления смазочного материала с присадками, включая интенсивное механическое перемешивание и эмульгирование, а также соблюдение оптимальных условий, таких как температура и время перемешивания. Важным моментом является использование смазочного материала Пума, который состоит из минерального базового масла и литиевого загустителя, что придает ему термостойкость и вязкость.

Автор анализирует свойства присадок, таких как адсорбция поверхностно-активных веществ и их взаимодействие с металлическими поверхностями, что позволяет формировать защитную пленку и улучшать эксплуатационные характеристики смазочного материала. Также подробно описывается подготовка образцов рельсов и контробразцов для испытаний, включая методы измерения износа и определение диффузионно-активного водорода.

Методы, применяемые в работе, включают физико-механические испытания, ИК-спектроскопический анализ, анализ структуры и состава исследуемых поверхностей трения, а также триботехнические испытания на маслоиспытательной машине. Автор приводит результаты оценки влияния исследуемых присадок на свойства гребня и рельса, включая исследование их структуры, химического состава, твердости и шероховатости.

Таким образом, работа предоставляет всесторонний обзор методического подхода к исследованию смазочных материалов и трибосистем, что значительно расширяет наше понимание процессов трения и изнашивания в железнодорожном транспорте в рассматриваемой паре трения.

Глава 3 «Контактное взаимодействие узла трения гребень-рельс» посвящена теоретическому исследованию процессов, происходящих в зоне трения гребень-рельс, и разработке модели изнашивания гребня колеса локомотива. Важным аспектом работы автора является разработка и апробация методики прогнозирования межремонтного пробега локомотива, а также представление обобщений и практических рекомендаций.

Автор отмечает, что ключевым элементом в исследовании взаимодействия гребня колеса и рельса является анализ системы двух тел при наличии слоя смазочного материала. В работе подробно рассмотрены факторы, влияющие на давление гребня на рельс. Важным моментом является применение теории подобия и π -теоремы Бакингема для моделирования скорости изнашивания и установления критериального уравнения.

В рамках теоретического анализа автор подробно описывает процесс

моделирования и расчет давления, используя уравнения для определения давления и площади контакта, а также методы регрессионного анализа для оценки влияния различных факторов на износ. Особенно значимым является использование регрессионной модели с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,98$, что подтверждает высокую значимость разработанной модели.

Установлены оптимальные параметры смазочных материалов и проведен анализ их влияния на износ, что подтверждается экспериментальными данными. Исследования охватывают влияние различных присадок на вязкость смазочного материала и интенсивность выделения водорода, а также их влияние на скорость изнашивания.

Автор также отмечает, что после успешной верификации математической модели проведен расчет по натурным испытаниям, что подтверждает её применимость и эффективность в реальных условиях эксплуатации. Полученные результаты свидетельствуют о высоком уровне достоверности прогноза межремонтного пробега локомотива.

Ключевым выводом работы является подтверждение теоретической модели с использованием эмпирических данных, что позволяет строить более точные прогнозы по ресурсам узлов локомотива. Практическая значимость работы очевидна, так как она позволяет улучшить методы прогнозирования износа гребня и оптимизировать эксплуатационные параметры локомотивов на основе полученных теоретических и экспериментальных данных.

В главе 4 «Антифрикционные свойства присадок и их влияние на износ гребня колеса локомотива» рассмотрено практическое обоснование применения смазочного материала Пума с различными присадками. В исследовании анализируются триботехнические характеристики смазочных материалов с учетом их состава, температуры и давления, с фокусом на результаты испытаний различных присадок, таких как сульфорганическая, фосфорорганическая и гидрохиноновая.

Эксперимент показал, что смазочный материал Пума без присадок имеет среднее значение суммарного износа пары трения гребень-рельс в 190 мкм. При добавлении сульфорганической присадки износ снизился до 180 мкм, производные гидрохинона показали ещё меньшее значение – 170 мкм, тогда как фосфорорганическое соединение уменьшило износ до 180 мкм. Параллельные замеры износа гребня колеса локомотива продемонстрировали, что при использовании фосфорорганической присадки и без присадок износ составил 180 мкм, а с гидрохиноном – 170 мкм, при использовании сульфорганической присадки – 150 мкм.

Добавление сульфосоединения снижает скорость изнашивания на 20 %, тогда как гидрохинон снижает её на 6 %. В ходе испытаний также было измерено выделение водорода из зоны трения. Смазочный материал Пума без присадок выделяет 67 ppm водорода, тогда как с сульфосоединением – 32 ppm, с гидрохиноном – 15 ppm, а с фосфорорганическим соединением – 8 ppm. Таким образом, фосфорорганическое соединение проявляет наибольшую эффективность в снижении выделения водорода и, соответственно, водородного изнашивания.

Исследование показало, что гидрохинон, хотя и снижает суммарный износ,

не столь эффективно в уменьшении водородного изнашивания по сравнению с фосфорорганическим соединением. Для комплексной оценки необходимо учитывать как механическое, так и водородное изнашивание. Комплексный показатель С, который учитывает оба этих фактора, показал, что фосфорорганическое соединение наиболее перспективно.

Отмечено, что динамическая вязкость смазочного материала изменяется в зависимости от присадки, с наибольшим увеличением вязкости у сульфоорганической присадки, что может приводить к повышению температуры в трибосопряжении. Влияние на вязкость и адсорбционные свойства оценивалось через изменение коэффициента трения в зависимости от температуры и вязкости смазочного материала. ИК-спектроскопия показала, что после испытаний увеличивается концентрация железа в смазочном материале, что связано с увеличением количества Fe-ОН. Изменения в спектре также указывают на деформацию полимерных цепей и возможное образование новых соединений. Фосфорорганическая присадка и гидрохинон показывают близкие результаты по интенсивности изнашивания, но фосфорорганическая присадка более эффективна в снижении водородного изнашивания. Практическое применение этих присадок возможно с учетом их влияния на свойства смазочного материала и требования к его качеству.

В главе 5 «Рекомендации по применению результатов исследования» отражено экономическое обоснование выбора и использования сульфоорганической присадки, с учетом уменьшения износа при ее использовании, что, соответственно, уменьшит затраты на ТО и обточку гребней колес. Расчет проводился на среднее количество локомотиворемонтных ДЕПО по России и с учетом, что каждое из них обслуживает до 180 локомотивов в месяц по данным статистики.

Автореферат диссертации, представленный на 19 страницах, в полном объеме отражает содержание работы.

3. Обоснованность научных положений и выводов основана на использовании в качестве основы для предложенных моделей современных положений о теории граничного трения, регрессионного и дисперсионного анализа. Использование регрессионного анализа позволило установить взаимосвязь между выделенными факторами и определить характер их влияния и взаимодействия в предложенной математической модели. Полученные зависимости и выводы позволяют оптимизировать состав смазочного материала и прогнозировать время до износа.

4. Достоверность результатов проведенных исследований подтверждается глубокой проработкой большого количества научной литературы как российских, так и зарубежных исследователей. Эксперименты, проведенные автором, имеют хорошую сходимость результатов, предложенная модель имеет сходимость по литературным данным и подтверждает правильность модели и полученных выводов.

Основные результаты диссертации опубликованы в 21 печатной работе, в том числе 6 в научных изданиях, входящих в Перечень Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации, 3 публикации в международных базах

цитирования Scopus, Web of Science, 10 публикаций в материалах конференций, получено 2 патента РФ на полезную модель

5. Научная новизна полученных результатов, положений, выводов и рекомендаций диссертационного исследования:

1. Автором установлено, что использование присадки сульфосоединения к пластичному смазочному материалу в концентрации 0,1 % повышает износостойкость пары трения гребень колеса локомотива-рельс.

2. Разработана модель изнашивания гребня бандажа колеса локомотива, позволяющая прогнозировать время до износа.

3. Экспериментальные данные автора показывают новые зависимости коэффициента трения от температуры смазочного материала с выбранными присадками: при максимальной температуре 260 °С составляют: сульфосоединение 0,217, фосфорорганическое соединение 0,160, гидрохинон 0,102.

6. Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке физико-математической модели на базе теории физического подобия, модели изнашивания, позволяющей по лабораторным исследованиям прогнозировать время до износа гребня колеса локомотива; испытательного стенда, позволяющего проводить испытания на износ с параллельным определением выделения диффузионно-активного водорода при трении; экономический эффект от использования присадки сульфорганического соединения составляет 1 млн рублей в год для одного локомотиворемонтного депо (в расчете на 180 локомотивов в месяц); доработана конструкция системы смазывания гребня бандажа колеса локомотива путем добавления отсека в конструкцию бака смазочной системы.

7. Соответствие паспорту научной специальности. Содержание диссертации соответствует требованиям Паспорта научных специальностей 2.5.3. – «Трение и износ в машинах» по следующим пунктам: п. 8. Триботехнические свойства смазочных материалов; п. 10. Физическое и математическое моделирование процессов трения и изнашивания. Расчет и оптимизация узлов трения и сложных трибосистем.

8. Замечания по диссертации и автореферату:

1. При обосновании актуальности диссертационной работы и практической значимости автор ссылается на эксплуатацию локомотивов в ОАО «РЖД», однако при подробном изучении материалов диссертации оказывается, что исследовательские работы выполнены применительно только к 8 локомотивам, эксплуатируемым на подъездных путях отдельно взятого депо. Поэтому, видимо, автором был сужен обзор литературных источников по теме исследования тяжело нагруженной трибосистемы «гребень колеса – боковая грань головки рельса», ограничиваясь только жидкими и пластичными смазочными материалами. Не выполнен анализ достоинств и недостатков жидких, пластичных и твердых смазочных материалов (С. 38), функционирующих при контактном давлении 3 ГПа колеса с рельсом (С. 36).

2. Отсутствует информация по твердым смазочным покрытиям типа РАПС-1 и РАПС-2 (С. 38) и аналогам, техническим системам для их нанесения на гребни колёсных пар подвижного состава, эксплуатируемым на магистральных путях ОАО

«РЖД», хотя ссылки на работы В. В. Шаповалова, И. А. Майбы, П. Н. Щербака в работе имеются на С. 5 автореферата, а в тесте диссертации – только в одной публикации под № 162.

3. При рассмотрении касательных усилий в точках контакта колёсных пар и рельсов за счёт относительного движения тележки (рис. 3.2 на С. 77) ведомая колёсная пара не может смещаться за пределы внутренней рельсовой плети. Выражение (3.1) давления гребня колеса на рельс действительно является первым приближением, в котором силовые факторы R_3 и R_4 мало чем отличаются друг от друга, а их выражения в работе не раскрываются.

4. Автор ошибочно оперирует терминами «смазка», «смазанное трение» (С. 32) применительно к смазочным материалам. По ГОСТ 27674-88 под термином «смазка» понимается действие смазочного материала, в результате которого между двумя поверхностями уменьшаются износ, повреждения поверхности и (или) сила трения.

5. Автор применяет кривую Герси-Штрибека к смазочным материалам, используемым в открытом нагруженном узле трения «колесо – рельс». Известно, что кривая Герси-Штрибека выражает зависимость силы трения скольжения величины от скорости при гидродинамическом трении закрытых фрикционных систем. Для открытых фрикционных пар трения, по нашему мнению, применение кривой Герси-Штрибека спорно.

6. Автором экспериментально установлены значения коэффициента трения смазочного материала Пума при максимальной температуре 260 °С. Указано, что при температурах 190...200 °С уже происходит деструкция компонентов смазочного материала. Как соотносится указанная температура с температурами гребня колеса натурального подвижного состава?

7. Не представлена схема модернизированного устройства подачи смазочного материала на гребни локомотива и отсутствует описание того, каким образом контролируется концентрация присадки к смазочному материалу Пума.

8. Хорошо выполненные научно-исследовательские работы, описанные в диссертационной работе, плохо согласуются с практической их реализацией на сети дорог ОАО «РЖД».

Замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей научной и практической ценности работы.

9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

Диссертация Ващишиной Анны Павловны «Повышение износостойкости гребня бандажа колеса локомотива улучшением антифрикционных свойств пластичного смазочного материала», является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, на высоком научном уровне, в которой решена важная научная проблема эксплуатации железнодорожного транспорта, а именно: повышение износостойкости гребня бандажа колеса локомотива с использованием сульфоорганической присадки. Полученная модель изнашивания позволяет прогнозировать время до износа

гребня. Использование выбранной присадки повышает износостойкость в анализируемой паре трения.

Тема диссертации актуальна, а полученные соискателем новые научные результаты обладают научной новизной и практической значимостью, вносят существенный вклад в развитие науки и практики в области трения и износа в машинах.

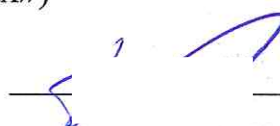
Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, теоретически и экспериментально обоснованы, прошли апробацию в научных изданиях, а также на научных конференциях и семинарах.

Содержание работы, ее научная новизна, обоснованность и достоверность полученных результатов, объем выполненных исследований, а также научная и практическая значимость позволяет утверждать, что диссертация соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ващишина Анна Павловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3 - «Трение и износ в машинах».

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедры «Проектирование и технология производства машин» ФГБОУ ВО РГУПС, протокол № 2 от «25» сентября 2024 г.

Заведующий кафедрой «Проектирование и технология
производства машин» ФГБОУ ВО РГУПС
доктор технических наук (по специальности
2.5.3 – «Трение и износ в машинах»)
доцент

тел. 8-928-774-5785
e-mail: pvharlamov@rgups.ru

 Харламов Павел Викторович

Доктор технических наук (по специальности
2.5.3 – «Трение и износ в машинах»)
профессор кафедры
«Проектирование и технология производства
машин» ФГБОУ ВО РГУПС, доцент

тел. 8-918-513-1168
e-mail: ozyabkin@mail.ru

 Озябкин Андрей Львович

«26» сентября 2024 г.

Ростовская область, городской округ город Ростов-на-Дону, город Ростов-на-Дону,
площадь Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2., 344038
Тел. (863) 245-06-13, Факс (863) 255-32-83, 245-06-13, E-mail: up_del@rgups.ru