

ОТЗЫВ

**официального оппонента доктора технических наук, профессора
Бурлаковой Виктории Эдуардовны
на диссертацию Авилова Виктора Владимировича
«Повышение износостойкости тяжело нагруженных трибосистем
комбинированным методом модифицирования поверхности трения»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 2.5.3 – «Трение и износ в машинах»**

1. Оценка содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Авилова Виктора Владимировича выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС) на кафедре «Теоретическая механика» и посвящена весьма актуальной проблеме – повышению износостойкости тяжело нагруженных трибосистем, подвижного железнодорожного транспорта. Для реализации поставленных в работе задач соискатель прежде всего выбрал и провел анализ работы одного из самых тяжело нагруженных узлов трения «пятник-подпятник» грузового вагона. С учетом такого обстоятельства, что данный узел работает в условиях наличия граничных слоев смазочного материала, автором выбран новый оригинальный подход к решению проблемы повышения износостойкости – комбинированный метод. С одной стороны, соискатель разработал и создал технологию модифицирования поверхности трения, обеспечивающую упрочнение и высокую износостойкость трибосистемы, а для смазочных материалов – противоизносные присадки к ним.

Следует подчеркнуть, что эти два подхода не только являются дополнением друг друга, но и функционально связаны для обеспечения максимальной износостойкости, надежности и безопасности работы трибосистемы.

Диссертация включает в себя все разделы, необходимые для получения конечных результатов проведенных исследований, и является завершенной научно-квалифицированной работой, выполненной с применением современных теоретических, расчетных и экспериментальных методов с конкретными предложениями по использованию полученных результатов применительно к железнодорожному транспорту, и для дальнейшей перспективы научных исследований и практического внедрения.

Диссертация включает в себя введение, пять глав, заключение с изложением основных результатов и выводов, приложений, библиографический список из 188 наименований. Содержание диссертации изложено на 160 страницах машинописного текста, в том числе содержит 68 рисунков и 9 таблиц.

Прежде чем перейти к анализу работы по решаемым автором задач, следует сказать, что работа выстроена последовательно, логично и достаточно понятным техническим и научным языком. Графический материал убедительно и наглядно иллюстрирует основные этапы и результаты решения задач.

Во введении автором проведено обоснование актуальности темы диссертационного исследования, выбран объект и направление исследования, сформулированы цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость и апробация полученных результатов, степень их достоверности.

В первой главе проведен анализ отечественных и зарубежных исследований повышения износостойкости трибосопряжений и описаны особенности работы трибосопряжения «пятник – подпятник» подвижного состава, произведен поиск по эффективному выбору модифицирования поверхности трения, исключающего коррозию в условиях эксплуатации, и разработку эффективных смазочных материалов. Обоснована необходимость применения комбинированного метода для повышения эффективности работы трибосопряжения «пятник – подпятник», путем упрочнения поверхности и устранение пленочного голодания пластичных смазочных материалов.

Во второй главе выполнены исследования по влиянию межэлектродной среды на физико-механические и трибологические свойства покрытий с помощью электроискрового легирования вольфрамовым электродом при различных режимах. Проведен анализ влияния периода и длительности импульса, на значение шероховатости полученных покрытий и изменение микротвердости обработанных образцов из стали 30Х13.

В третьей главе представлены исследования элементного состава поверхности трения и результаты квантовохимических расчетов энергии связи атомов железа с атомами вольфрама и углерода, выделенных из электрода и жидкой среды в результате термомеханодеструкции и проникающих в приповерхностный трибослой за счет диффузионных процессов. В этой же главе представлен механизм формирования в поверхностном слое упрочняющих структур, способствующих повышению износостойкости, методом ФРЭС.

В четвертой главе выполнен синтез присадок неорганической природы двойных метафосфатов $\text{CaZn}(\text{PO}_3)_4$ произведен расчет реакционной способности с поверхностью металла – кластерами железа, состоящими из 13 атомов, в сравнении с классом высших жирных кислот (группа $-\text{COOH}-$) с помощью квантово-химических расчетов с применением программного комплекса ADF. Проведены исследования трибологических характеристик смазочных композиций ПУМА и БУКСОЛ, с введением присадок $\text{CaZn}(\text{PO}_3)_4$ и $\text{NiZn}(\text{PO}_3)_4$. Выполнено математическое моделирование оценки влияния нагрузочно-скоростных режимов и процентного содержания присадки на износостойкость трибосопряжения.

В пятой главе приведены экспериментальные данные, включающие в себя стендовые и эксплуатационные испытания трибологических характеристик разработанного автором комбинированного метода модифицирования поверхности трения для узла «пятник – подпятник» подвижного состава.

В заключении диссертации содержатся выводы, обобщающие результаты выполненного исследования, рекомендации и перспективы дальнейших исследований по теме данной работы.

В приложениях представлены графики, чертежи и документы, подтверждающие практическую реализацию диссертационной работы.

Диссертация, автореферат и список литературы в виде библиографических ссылок по структуре и оформлению отвечают соответствующим требованиям ГОСТа.

2. Актуальность темы исследования

Повышение износостойкости тяжелонагруженных трибосистем является актуальной задачей, что обусловлено увеличением интенсивности эксплуатационных режимов. Одной из главных задач, помимо повышения износостойкости, надежности и безопасности, является экономическая составляющая и эффективность ремонта транспортных узлов трения. В жестких условиях граничного трения, существенную роль играет износостойкость поверхностей трибосопряжений и качество смазочного материала в зоне трибоконтакта. В диссертации решение указанной проблемы основано на основе современных теоретических подходов и экспериментальных методов исследования. Автор осуществляет комплексное решение данной проблемы путем модификации контактных поверхностей трибосопряжений тяжело нагруженного узла «пятник-подпятник» грузового вагона с помощью электроискрового легирования, и с применением смазочных материалов, модифицированных новыми присадками на основе двойных метафосфатов, что доказывается эффективностью эксплуатационных испытаний. Поэтому повышение износостойкости тяжело нагруженных трибосистем в жестких условиях граничного трения, затрагивает вопросы эффективности эксплуатационных показателей. Об актуальности, важности, экономической эффективности рассмотренной работы говорит и то, что исследования в этой области были поддержаны грантами Российского фонда

фундаментальных исследований (проект 16-08-00264); Российского научного фонда (проекты РНФ №16-19-10467, №21-19-00288).

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе

Обоснованность как общих выводов, так и представленных по каждой главе в диссертационной работе, основана на достаточно объективных подходах в области проводимых исследований с применением аналитических, экспериментальных, математических и статистических методов, а также с применением квантово-химических расчетов, направленных на описание и обоснование механизма повышения износостойкости и упрочнения поверхности трения путем комбинированного метода модифицирования поверхности трения тяжело-нагруженных трибосистем, включающей электроискровую обработку поверхности в жидких средах и введение неорганических присадок двойных метафосфатов в пластичные смазочные материалы. Положения, выводы и заключения диссертации в целом обоснованы и отражают главное содержание выполненных исследований в главах и в целом по работе. Результаты диссертации являются существенным вкладом в области трибологии и имеют перспективу дальнейших научных исследований.

4. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных результатов исследований работы В.В. Авилова, определяется корректной постановкой целей и задач, обработкой значительного количества экспериментально полученных данных и их проверкой.

Теоретические результаты, коррелируют с экспериментальными данными. Экспериментальные исследования проведены различными современными методами и в значительном объеме подтверждаются результатами лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний.

5. Научная новизна работы

Предложенный автором комбинированный метод повышения износостойкости, ставит сразу несколько задач одновременно: произвести модификацию поверхности, при этом обеспечив надежность – высокое качество адгезии наносимого покрытия с обрабатываемой поверхностью, прочность самого покрытия, упрочнение поверхности, что в свою очередь требует правильного выбора соответствующего материала и методов нанесения на поверхность трибосистемы; технологическую доступность; исключение пленочного голодания применяемых смазочных материалов. Решая вышеперечисленные задачи, научная новизна заключается в следующем:

- Установлены закономерности влияния технологических режимов обработки поверхности с помощью электроискрового легирования (ЭИЛ) в жидких средах на физико-механические и трибологические характеристики узлов трения;

- Обоснован выбор материалов наносимого покрытия на трибоповерхность с помощью ЭИЛ, на основе оценки энергии межатомного взаимодействия железа с различными элементами при модификации поверхности электроискровым легированием, с помощью квантовохимических расчетов;

- Предложена методика и технология разработки эффективных присадок на основе двойных метафосфатов для модификации смазочных материалов, образующих пленки переноса на поверхности трения. Оценка реакционной способности молекул присадки $\text{CaZn}(\text{PO}_3)_4$ на базе программного комплекса Amsterdam Density Functional (ADF);

- Представлен механизм формирования упрочняющего слоя поверхности трения методом ЭИЛ за счет испарения и ионизации атомов вольфрамового электрода и деструкции «изолирующей жидкости» с

выделением углерода и последующей их диффузии в поверхностный слой трения с образованием карбидного слоя WC.

6. Значение полученных результатов, выводов и рекомендаций для науки и практики

Значимость полученных результатов диссертационной работы Авилова Виктора Владимировича заключаются в том, что они дополняют знания о механизме формирования пленок переноса и упрочнения поверхности. Расширяют функциональные возможности и улучшают эксплуатационные показатели, а также повышают надежность тяжело нагруженных трибосистем.

Результаты исследований и разработанная технология модифицирования упорных и опорных поверхностей пятникового узла грузовых вагонов внедрена в вагонном ремонтном депо Татарская ВЧДР-4 Западно-Сибирской дирекции по ремонту пути и ВЧДр Батайск АО «ВРК-1» Северо-Кавказской железной дороги, о чем имеются акты о внедрении результатов научных исследований и практических рекомендаций. Автором убедительно даны рекомендации и показана перспективность дальнейших исследований по теме диссертационной работы.

7. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация Авилова В.В. соответствует паспорту научной специальности 2.5.3 Трение и износ в машинах в области исследований, а именно:

пункту 2 – Механика и физика контактного взаимодействия при трении покоя, трении скольжения, трении качения и качения с проскальзыванием с учетом строения, качества и свойств поверхностных слоев;

пункту 4 – Смазочное действие: гидро- и газодинамическая смазка, гидро- и газостатическая смазка, эластогидродинамическая смазка, смешанная смазка, граничная смазка;

пункту 7 – Триботехнические свойства материалов, покрытий и модифицированных поверхностных слоев;

пункту 8 – Триботехнические свойства смазочных материалов;

пункту 10 – Физическое и математическое моделирование трения и изнашивания. Расчет и оптимизация узлов трения и сложных трибосистем.

Таким образом диссертация полностью отвечает паспорту заявленной специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах.

8. Соответствие автореферата диссертации ее содержанию

Автореферат корректно и достаточно полностью отражает основное содержание диссертационной работы в кратком изложении, содержит достаточную информацию, отражающую основные положения, выводы, заключения и рекомендации.

9. Полнота изложения материалов диссертации в открытой печати

Результаты исследований и содержание работы опубликованы в 43 печатных работах. В том числе 16 публикаций в изданиях, входящих в перечень периодических изданий ВАК Минобрнауки России, 4 статьях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science. Получено 3 патента РФ. Общий объем 12,56 п.л., в том числе доля соискателя составила 6,61 п.л.

Все опубликованные материалы работы системно посвящены материалу, представленному в главах диссертации. Основные результаты прошли достаточно широкую апробацию на международных, всероссийских научно-практических конференциях, тематика которых совпадает с основными направлениями исследований, представленных соискателем в работе.

10. Замечания по диссертационной работе

1. Не ясно, по каким критериям выбирался диапазон цифровых значений для технологических режимов обработки при электроискровом легировании: период T и длительность импульса t , например, таблица 2.1 на стр. 39.

2. Отмечая заслугу автора в получении патентов РФ, желательно было бы их сравнить с зарубежными патентными исследованиями по повышению износостойкости смазочных материалов (2 патента), так и патент по многофункциональной машине трения.

3. При разработке автором комбинированного метода модифицирования поверхности трения, для исключения образования окисных пленок, при электроискровом легировании (ЭИЛ), было предложено проводить исследования в индустриальном масле И-40 и полиэтилсилоксановой жидкости ПЭС-3. Нет обоснования тому – почему были выбраны именно эти жидкости и какая научная цель преследовалась?

4. Из данных диссертации и автореферата не ясно, до каких предельных значений скорости и нагрузки будут эффективно работать предложенные автором технологии модифицирования поверхности и присадки к пластичным смазочным материалам?

5. При разработке присадки неорганической природы на основе двойных метафосфатов автор показывает улучшение трибологических свойств пластичных смазочных материалов и объясняет это образованием пленок переноса. В контексте такого подхода употребляет термин «Самоорганизация» трибосистемы (стр. 76). Хотелось бы получить более подробную информацию, что под этим термином понимает соискатель, а лучше физический смысл этого?

11. Заключение

Проведенный анализ материалов диссертации указывает, что по актуальности, содержанию и значимости основных результатов, диссертационная работа Авилова Виктора Владимировича «Повышение износостойкости тяжело нагруженных трибосистем комбинированным

методом модифицирования поверхности трения» является логичной, функционально законченной научно-квалификационной работой, которая выполнена на достаточно высоком уровне, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения повышение износостойкости тяжело нагруженных трибосистем. Результаты, полученные автором, обладают научной новизной, имеют существенное значение для развития отрасли не только железнодорожного транспорта, но и в авиации, морском и наземном транспорте.

Тема и содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах.

Работа является завершенным научным исследованием и отвечает требованиям «Положение о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Авилов В.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах.

Официальный оппонент:

Бурлакова Виктория Эдуардовна, профессор кафедры «Химия» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», доктор технических наук по специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах» и 02.00.04 «Физическая химия».



Бурлакова Виктория Эдуардовна

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



Бурлакова Виктория Эдуардовна

«27» ноября 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ФГБОУ ВО ДГТУ)
344000, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.
Тел. 8 (863) 273-85-37
E-mail: vburlakova@donstu.ru

Подпись Бурлаковой Виктории Эдуардовны заверяю:

Ученый секретарь

Ученого совета ДГТУ



Анисимов Владимир Николаевич