

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
инновационной деятельности

ФГБОУ ВО «Южно-Российский

государственный политехнический

университет (НПИ) имени М.И. Платова»,

К.Т.Н., доцент



В.С. Пузин

2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский
государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова» по диссертации Авилова Виктора Владимировича
«Повышение износостойкости тяжелонагруженных трибосистем комбиниро-
ванным методом модифицирования поверхностей трения», представленной
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.5.3. Трение и износ в машинах

1. Оценка структуры и объема диссертационной работы

Диссертация Авилова Виктора Владимировича «Повышение износостойкости
тяжело-нагруженных трибосистем комбинированным методом модифицирования
поверхностей трения» состоит из введения, пяти глав, заключения, списка
использованных источников из 188 наименований, 5 приложений. Работа изложена
на 160 страницах, содержит 68 рисунков, 9 таблиц, акты внедрения.

2. Актуальность темы исследования

В современном машиностроении среди технологических методов повышения
износостойкости поверхностного слоя трибосопряжений перспективными
являются методы модифицирования поверхностей трибосопряжений. Одним из
них является широко используемая технология электроискрового легирования
(ЭИЛ) металлических трибосистем, достоинством которой является высокая
адгезия легированного слоя к материалу подложки, низкая энергоёмкость
процесса, простота выполнения технологической операции. Электроискровое
легирование, обладая широкими возможностями формирования в поверхностях
определенной структуры, фазового и химического состава, позволяет улучшить
антифрикционные и противоизносные свойства поверхностей трибосопряжений.
Однако диапазон использования ЭИЛ сравнительно невелик и не отвечает

растущим требованиям из-за окислительных процессов в газовой среде. Поэтому весьма актуальной является разработка автором диссертационной работы методов ЭИЛ поверхностей трения не в газовой среде, а в жидких средах, связанных с созданием на трущихся трибоконтактах модифицированных покрытий, работающих в условиях граничного трения и обладающих свойствами саморегулирования. Поэтому весьма актуальной является и другая составляющая комбинированного покрытия – повышение триботехнических свойств смазочных материалов на основе их модификации присадками метафосфатного состава и установление механизма их действия.

Диссертация Авилова В.В. является актуальной не только в научном поиске путей повышения износостойкости трибосопряжений, но и по причине практической значимости, так как посвящена повышению износостойкости тяжело нагруженной трибосистемы «пятник-подпятник» грузового вагона железнодорожного транспорта путем использования комбинированного метода – модифицирования поверхностей трибосопряжений электроискровым легированием в жидких средах – индустриальном масле И-40А, полиэтилсилоксановой жидкости ПЭС-3 и дополнительным модифицированием легированной поверхности пластичными смазочными материалами ПУМА, БУКСОЛ, содержащих двойные метафосфаты $\text{CaZn(PO}_3)_4$ и $\text{NiZn(PO}_3)_4$.

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

- разработкой методики проектирования комбинированной технологии модифицирования поверхностей трения для повышения износостойкости тяжело нагруженных трибосистем на основе разработанного метода электроискровой обработки поверхности в жидких средах и неорганических присадок двойных метафосфатов для использования в пластичных смазочных материалах;
- результатами исследований по определению режимов электроискрового легирования в жидких средах (индустриальное масло И-40 и полиэтилсилоксановая жидкость ПЭС-3) на формирование модифицированной поверхности трения и её влияние на прочностные и износостойкие характеристики;
- результатами физико-химических и трибологических исследований смазочного действия пластичных смазочных материалов ПУМА и БУКСОЛ с добавками присадок двойных метафосфатов, генерирующих антифрикционные пленки на трущихся поверхностях.

4. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность обеспечивается корректным установлением и достижением общей цели исследований. Сходимость теоретических результатов подтверждена экспериментальными исследованиями с применением современных методов

исследований: рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, электронной микроскопии, ИК-спектроскопии, удовлетворительными результатами промышленных испытаний. Достоверность результатов диссертации Авилова В.В. подтверждается не только апробацией на международных и всероссийских конференциях, публикациями в журналах, включенных в перечень ВАК, но и результатами эксплуатационных испытаний, подтверждающих эффективность комбинированного метода модифицирования поверхности трения с повышением износостойкости в 1,5 раза.

5. Научная новизна результатов работы

Научная новизна исследований заключается, прежде всего, в том, что в работе сформулирован и научно обоснован новый подход по повышению износостойкости тяжело нагруженных трибосистем путем комбинированного метода – модифицирования поверхности трения с помощью электроискрового легирования в жидких средах и разработки эффективных присадок к пластичным смазочным материалам.

1. Получены новые знания о функциональной зависимости физико-механических и трибологических параметров от шероховатости поверхности, полученной с помощью электроискрового легирования в жидких средах.

2. На основе квантово-химических расчетов проведена оценка энергии межатомного взаимодействия железа с различными элементами при электроискровом легировании, что позволило сделать выбор материала для электрода при модифицировании поверхности трения.

3. Установлены закономерности образования пленки фрикционного переноса и представлена эффективность присадок двойных метафосфатов $\text{CaZn}(\text{PO}_3)_4$, $\text{NiZn}(\text{PO}_3)_4$, вводимых в пластичные смазочные материалы, подтвержденная расчетами энергии связи фрагментов молекулы с железом и обеспечивающая образование пленок на поверхности трения.

4. Приведен механизм формирования упрочняющего слоя за счет испарения и ионизации атомов вольфрамового электрода и деструкции применяемой жидкости с выделением углерода и последующим замещением атомами вольфрама атомов железа в узлах кристаллических решеток феррита, делая его легированным твердым раствором $\text{Fe}_\alpha(\text{W})$, и тем самым достигается упрочняющий эффект поверхности трибосопряжения.

6. Значимость для науки и практики полученных результатов

Диссертационная работа Авилова В.В., вне всякого сомнения, имеет теоретическое и практическое значение, которое заключается в следующем:

1. Предложенный автором комбинированный метод модифицирования поверхности трения обеспечивает повышение физико-механических и

триботехнических характеристик трибосистемы созданием оптимальной шероховатости поверхности электроискровым легированием, синтезом двойных метафосфатов в качестве добавки к пластичным смазочным материалам, оценкой эффективности образования антифрикционных пленок с использованием физико-математического моделирования и планирования эксперимента.

2. В результате применения квантово-химических расчетов энергии связи поверхности трения с фрагментами молекул присадок $\text{CaZn}(\text{PO}_3)_4$, $\text{NiZn}(\text{PO}_3)_4$ показана эффективность присадок двойных метафосфатов к пластичным смазочным материалам в повышении износостойкости трибосопряжения за счет высокой степени полимеризации и адсорбции фосфатов в микрорельеф поверхности трибосопряжения.

3. Используя квантово-химический расчет энергии связи атомов вольфрама W и углерода C с атомами железа, а также метод РФЭС на приборе SPECS, Авиловым В.В., проведены исследования химической связи и химического состава модифицированной поверхности трения и представлен механизм формирования в поверхностном слое упрочняющих структур, способствующих повышению износостойкости. Показано, что при трении модифицированной вольфрамом поверхности металлического контртела за счет термомеханодеструкции в зоне контактирования выделяются атомы вольфрама, которые замещают атомы Fe в узлах кристаллических решеток феррита, делая его легированным твердым раствором $\text{Fe}_\alpha(\text{W})$ и тем самым достигается упрочняющий эффект поверхности трибосопряжения.

4. Определены параметры обработки поверхности методом электроискрового легирования. Разработана технология получения пластичных смазочных материалов с присадками двойных метафосфатов. Проведены лабораторные, стендовые исследования пластичных смазочных материалов с разработанными присадками.

5. 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.

7. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация Авилова В.В. «Повышение износостойкости тяжелонагруженных трибосистем путем комбинированного метода модифицирования поверхностей трения» соответствует паспорту научной специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах, а именно: п. 2 «Механика и физика контактного воздействия при трении покоя, трении скольжения, трении качения и качения с проскальзыванием с учетом строения, качества и свойств поверхностных слоев»;

п. 7 «Триботехнические свойства, материалов, покрытий и модифицированных поверхностных слоев».

8. Полнота изложения материалов диссертации в открытой печати

Результаты исследований и содержание работы опубликованы в 43 публикациях, в том числе 16 - в изданиях, входящих в перечень периодических изданий ВАК Минобрнауки России, 4 статьи - в изданиях, 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.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-практических и научных конференциях. Опубликованные и доложенные на конференциях материалы достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

Содержание диссертации достаточно полно изложено в автореферате и в опубликованных работах, личный вклад автора подтвержден. Имеются ссылки на авторов и источники заимствования.

9. Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Основные положения, полученные в диссертации, рекомендуются для установления новых закономерностей физико-химических процессов, происходящих в зоне трения, при расширении области применения электроискрового легирования металлических поверхностей.

Разработанная методика электроискрового легирования металлических поверхностей в жидких средах рекомендуется для применения в ремонтном производстве при восстановлении поверхностей направляющих станков в станкостроении нанесением на направляющие композиционного слоя.

На основании результатов проведенных исследований для повышения эксплуатационного ресурса трибосопряжений узлов трения автомобильного, железнодорожного, авиационного транспорта рекомендуются пластичные смазочные материалы с добавками метафосфатов.

10. Замечания по диссертационной работе

1. В обзоре литературы, посвященном износостойким покрытиям, упрочнению поверхностного слоя, приведенных в главе 1, автору следовало привести работы д.т.н., профессора Воронина Н.А, по исследованию антифрикционных покрытий, называемых топокомпозиатами, проводимых в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. Такие однослойные, многослойные топокомпозиаты обладают адгезией к подложке, имеют напряженно-деформированное состояние в контактной зоне, воспринимают действующую

нагрузку на покрытие вместе с подложкой и рассматриваются как новый класс конструкционных материалов триботехнического назначения.

2. Автор диссертации в трибосопряжении «пятник-подпятник» железнодорожного вагона обеспечивает положительный градиент механических свойств трибосопряжения легированным слоем, полученным электроискровым легированием и модифицированным слоем, образующимся на легированном слое, при нанесении пластичных смазочных материалов ПУМА, БУКСОЛ с добавками двойных метафосфатов $\text{CaZn}(\text{PO}_3)_4$, $\text{NiZn}(\text{PO}_3)_4$. При испытании таких композиций изменяются адгезионная и деформационная составляющие коэффициента трения. Автору следовало проводить испытания таких покрытий не только на износостойкость, но и определить коэффициент трения таких покрытий.

3. При электроискровом легировании химическая устойчивость жидкостей в зоне легирования металлических поверхностей должна достигает температур 100 - 400 °С. В качестве жидких сред используют керосин и нефтяное масло или их смеси 1:1. Автор использует в качестве жидких сред нефтяное промышленное масло И-40А и полиэтилсилоксановую жидкость ПЭС-3, температура вспышки которой 125 °С. Автору следовало бы дать пояснения по выбору данной жидкости, так как выпускаются жидкости с более высокой температурой вспышки (полидеметилсилоксановая жидкость ПМС-200, температура вспышки 316 °С и полиметилфенилсилоксановая жидкость ПФМС-4, температура вспышки 300 °С). Кроме того, данные полисилоксановые жидкости обладают низкими смазочными свойствами.

4. В работе применены термины, не соответствующие ГОСТ 27674-88 «Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения». Так, на стр. 5, 6, 8, 9, 16, 35 и других приведены термины «смазка», «пластичная смазка», а согласно ГОСТ 27674-88 должно быть «смазочный материал», «пластичный смазочный материал»; на стр. 23 приведено «окисные плёнки», а должно быть «оксидные плёнки».

11. Заключение

Отмеченные выше замечания не снижают ценности диссертации. Результаты проведенных исследований представляют комплекс новых научно-технических разработок по повышению износостойкости трибосистемы «пятник-подпятник» железнодорожного вагона комбинированным методом модифицирования поверхности трения.

Диссертация Авилова Виктора Владимировича «Повышение износостойкости тяжелонагруженных трибосистем путем комбинированного метода модифицирования поверхностей трения» представляет собой самостоятельную, завершённую научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки,

обеспечивающие повышение износостойкости тяжело нагруженных трибосистем путем комбинированного метода модифицирования поверхностей трения электроискровым легированием с использованием пластичных смазочных материалов с добавками метафосфатов, что имеет существенное значение для повышения долговечности узлов трения и развития железнодорожного транспорта, станкостроения, судостроения, авиационной промышленности, сельхоз-машиностроения и других машиностроительных областей страны.

Апробация работы осуществлена на международных конференциях. Содержание диссертации достаточно полно отражено в автореферате и в опубликованных работах. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

Диссертация соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней (п. 9-11, 14), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Авилов Виктор Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

Диссертация обсуждена и отзыв одобрен на заседании кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», протокол №7 от 14.11.2025 г.

Заведующий кафедрой «Автомобили и
транспортно-технологические комплексы»
ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова»
доктор технических наук, профессор
тел.: 8(863)525-52-25
e-mail: avtottk_npi@mail.ru



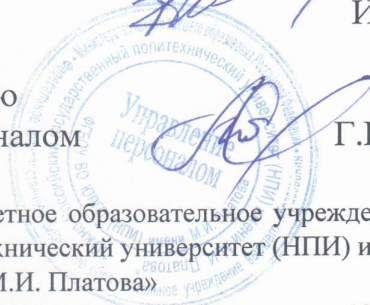
Исаков Владимир Семенович
« 14 » ноября 2025 г.

Даю согласие на обработку персональных данных



Исаков Владимир Семенович

Подпись В.С. Исакова заверяю
Начальник управления персоналом



Г.Г. Иванченко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова»
ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова»
Адрес: 346428 Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,
тел: 8(863) 525-54-33
e-mail: rektorat@npi-tu.ru