

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования

**«Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

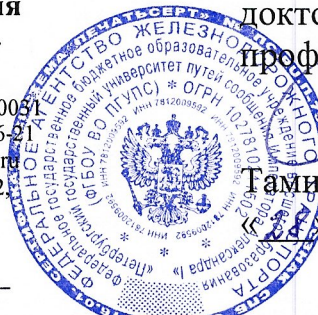
Московский пр., д.9, Санкт-Петербург, 190051
Телефон: (812) 457-86-28, факс: (812) 315-26-21
E-mail: dou@pgups.ru, http://www.pgups.ru
ОКПО 01115840, ОГРН 1027810241502
ИНН 7812009592/ КПП 783801001

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –
проректор по научной работе,
доктор технических наук,
профессор

Гамида Семеновна Титова

«28» сентября 2023 г.



№ _____
на № _____ от _____
Г _____
**Отзыв ведущей организации на
диссертационную работу**

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

на диссертацию Мустафина Аделя Шамильевича

«Повышение энергетической эффективности грузовых электровозов семейства
«Ермак» за счет комплекса инновационных технических решений при
заводском ремонте», представленную па соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.9.3. Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация.

1. Оценка структуры и объема диссертационной работы

Диссертация Мустафина Аделя Шамильевича на тему «Повышение энергетической эффективности грузовых электровозов семейства «Ермак» за счет комплекса инновационных технических решений при заводском ремонте», общим объемом 170 страниц состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы 121 наименование и двух приложений.

Таким образом, объем и структура диссертационной работы соответствуют принятым требованиям.

2. Актуальность темы исследования

В настоящее время, снижение удельного расхода топливно-энергетических ресурсов относится к числу стратегических инициатив в локомотивном комплексе ОАО «РЖД». Доля электроэнергии, затрачиваемой на тягу поездов, составляет около 90% от всей электрической энергии, потребляемой холдингом. Поэтому уровень эффективности использования электроэнергии на тягу оказывает ключевое влияние на величину затрат компании на закупку ТЭР, в силу чего предусматривается последовательное снижение удельного расхода электроэнергии на тягу.

В диссертационной работе ставится задача повышения энергетической эффективности грузовых электровозов с коллекторными тяговыми двигателями семейства «Ермак», число которых на путях ОАО «РЖД» превышает пять тысяч секций. Для таких электровозов, при выполнении заводского ремонта, в ходе инновационной модернизации необходимо выполнить ряд дополнительных требований. В настоящей работе обозначенные проблемы решались в комплексе.

Из вышесказанного следует актуальность и практическое значение диссертационного исследования.

3. Цели и задачи исследования

Целью настоящей диссертации является разработка комплекса научно обоснованных технических решений по модернизации многодвигательного тягового привода грузовых электровозов семейства «Ермак» в ходе заводского ремонта, направленных на повышение энергетической эффективности, в результате чего будет достигнуто сокращение удельного расхода электроэнергии в режиме тяги с обеспечением надежности и работоспособности коллекторных тяговых двигателей.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Обосновать возможность повышения энергоэффективности многодвигательного тягового привода путем отключения/подключения коллекторных ТЭД в зависимости от нагрузки.

2. Сформулировать и обосновать требования, которые должны быть соблюдены при реализации алгоритма дискретно-адаптивного управления на электровозах с коллекторными ТЭД.

3. Изучить изменение энергетической эффективности основных элементов тяговой системы электровоза (трансформатор, преобразователь, сглаживающий реактор, ТЭД и др.) в зависимости от нагрузки.

4. Разработать методологию получения аналитического описания электромеханических процессов в ТЭД с учетом потерь, записать баланс мощностей. Построить компьютерную модель процессов в пакете SimInTech.

5. Получить зависимость коэффициента полезного действия (КПД) и коэффициента использования мощности (КИМ) тягового электродвигателя от потребляемой им мощности.

6. Изучить степень использования установленной мощности грузовых электровозов в реальных условиях эксплуатации на Северо-Кавказской ж.д. Дать оценку энергопотребления при ведении груженых и порожних поездов при работе электровоза в штатном и энергоэффективном режимах.

7. Выполнить моделирование теплового режима тягового электрооборудования электровозов при наличии регулируемой принудительной вентиляции. Этот вопрос изучить применительно к условиям работы ТЭД в энергоэффективном режиме.

8. Рассмотреть вопрос обеспечения надежности и работоспособности коллекторно-щеточного узла ТЭД при работе в энергоэффективном режиме за счет применения электропроводящей смазки.

9. Путем применения методов программно-аппаратного моделирования, исследовать варианты подключения ТЭД и другого силового и вспомогательного оборудования при работе электровоза в энергоэффективном режиме.

Анализируя содержание работы, можно сказать, что цель автором достигнута и поставленные задачи решены.

4. Теоретическая значимость и научная новизна полученных результатов заключаются:

1. В результатах исследования процессов в важнейших элементах тяговой системы электровоза (трансформатор, выпрямительно-инверторный преобразователь, сглаживающий реактор, ТЭД) и в полученных закономерностях изменения энергетической эффективности этих элементов при работе в различных режимах, что позволило создать основу для применения алгоритма дискретно-адаптивного управления (ДАУ).

2. В построении компьютерной модели электромеханических процессов в ТЭД с учетом потерь, созданной в программном пакете *SiminTech*. Достоверность

результатов моделирования подтверждена путем сопоставления с данными квалификационных испытаний ТЭД НБ-514Е.

3. В установлении закономерностей изменения КИМ и КПД двигателя, которые представлены в виде зависимостей КИМ и КПД от мощности, потребляемой двигателем, что значительно облегчает реализацию алгоритма ДАУ при модернизации электровозов, так как не требует установки дополнительных датчиков.

4. В создании программно-аппаратного симулятора, предназначенного для имитационного моделирования процессов управления многодвигательным тяговым приводом электровоза, с помощью которого исследованы варианты подключения ТЭД и другого оборудования при работе в энергоэффективном режиме.

5. В разработке методологии применения электропроводящей смазки щёток (подана заявка на изобретение), что позволяет, в рамках модернизации, увеличить ресурс и избежать повреждений коллекторных ТЭД, и тем самым обеспечить успешное применение алгоритма ДАУ на электровозах семейства «Ермак».

Основные полученные результаты являются новыми.

5. Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач применены методы следующих научных дисциплин: теории электрических цепей (дифференциально-алгебраические уравнения процессов в силовой цепи); динамики твердого тела (дифференциальное уравнение вращательного движения якоря ТЭД); статистической обработки больших массивов экспериментальных данных (оценка энергопотребления грузовых электровозов в условиях эксплуатации); моделирования теплового режима ТЭД (при рассмотрении работы регулируемой вентиляции); трибологии (обоснование целесообразности применения электропроводящей смазки в КЩУ); программно-аппаратного моделирования для исследования работы ТЭД в штатном и энергоэффективном режимах (на основе программного пакета SimInTech отечественной разработки).

6. Степень достоверности результатов исследования

Достоверность полученных результатов обеспечена корректностью формулировок поставленных задач, надежностью примененных теоретических

методов и специализированных программных пакетов, и подтверждается сопоставлением результатов, полученных путем компьютерного моделирования, с данными заводских квалификационных и стендовых испытаний. Различие по основным показателям энергоэффективности ТЭД находится в пределах долей процента, что свидетельствует об адекватности построенных компьютерных моделей и о достоверности результатов моделирования, и позволяет использовать их для оценки энергопотребления.

7. Практическое значение результатов, полученных автором диссертационного исследования

Практическая ценность заключается в получении значительного экономического эффекта за счет сокращения потребления электроэнергии на тягу. Показано, что степень использования установленной мощности грузовых электровозов на линии Лихая – Крымская является неудовлетворительной: в штатном режиме работы тягового электропривода она составляет, в среднем, 0,22 для поездов массой 6300 т, и 0,12 – для поездов массой 1750 т. За счет применения алгоритма ДАУ, расчетным путем доказана возможность существенного повышения энергетической эффективности электровозов. Оценка экономической эффективности составляет 4,78 млн. руб. на один электровоз (180 оборотов локомотива в год, при уровне цен 5 руб/кВт·ч). Результаты диссертации реализованы в виде рекомендаций по проведению модернизации электровозов «Ермак» в ходе заводского ремонта. Имеются акт рассмотрения полученных результатов (приложение 2).

8. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Развитое в настоящей работе научное направление и комплекс инновационных технических решений по повышению энергетической эффективности являются перспективными и могут быть распространены на другие серии находящихся в эксплуатации магистральных электровозов с коллекторными тяговыми электродвигателями. Наряду с этим, предложения по обеспечению надежности и работоспособности коллекторно-щеточного узла применимы для тяговых двигателей и тяговых генераторов постоянного тока тепловозов. Реализация предлагаемых мер может быть выполнена в ходе заводского ремонта.

В протоколе заседания секции «Локомотивное хозяйство» Научно-технического совета ОАО «РЖД» от 18.05.2023 г. «О развитии локомотивного комплекса до 2030 года» дается поручение «... проработать ... вопрос внедрения и тиражирования на эксплуатируемом подвижном составе алгоритмов снижения расхода энергетических ресурсов за счет адаптивного управления тяговыми электродвигателями». Это обеспечит существенную экономию топливно-энергетических ресурсов и сокращение издержек ОАО «РЖД» на их приобретение.

9. Личный вклад соискателя в получении результатов исследования

Личное участие автора в получении основных научных результатов состоит:

- в анализе отечественного и зарубежного опыта повышения энергетической эффективности электровозов в режиме тяги и в выборе направления исследований;

- в исследовании электромеханических процессов в основных элементах тяговой системы электровозов «Ермак» (трансформатор, выпрямительно-инверторный преобразователь, сглаживающий реактор, тяговый электродвигатель (ТЭД)) и в полученных закономерностях изменения энергетической эффективности этих элементов при работе в различных режимах. В итоге создана основа для применения алгоритма дискретно-адаптивного управления (ДАУ) этим электровозом;

- в построении компьютерной модели электромеханических процессов в ТЭД с учетом потерь и в получении результатов моделирования, достоверность которых подтверждена путем сопоставления с экспериментальными данными;

- в установлении закономерностей изменения коэффициента использования мощности (КИМ) и коэффициента полезного действия (КПД) тягового двигателя в зависимости от потребляемой мощности, что позволяет применять алгоритм дискретно-адаптивного управления (ДАУ) при модернизации электровозов;

- в разработке технологии применения электропроводящей смазки коллекторно-щёточного узла, что позволяет избежать повреждений коллекторных ТЭД при их отключении.

10. Соответствие содержания диссертации паспорту заявленной специальности

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.9.3 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»:

п. 1. Эксплуатационные характеристики и параметры подвижного состава и систем тягового электроснабжения, повышение их эксплуатационной надёжности и работоспособности. Системы электроснабжения железных дорог, промышленного железнодорожного транспорта, рельсового городского транспорта и метрополитенов. Методы и средства снижения энергетических потерь, обеспечения энергетической безопасности тяги поездов и электроснабжения железных дорог;

п. 2. Системы и технологии эксплуатации, технического обслуживания, ремонта подвижного состава и устройств электроснабжения. Оборудование для экипировки подвижного состава, ремонта и обслуживания устройств тягового электроснабжения. Управление жизненным циклом локомотивов, вагонов и технических средств систем электроснабжения. Развитие парков локомотивов и вагонов, рельсового городского транспорта и метрополитена;

п. 4. Совершенствование подвижного состава, включая тяговый привод и энергетические установки автономных локомотивов; тяговых и трансформаторных подстанций, тяговых сетей, включая накопители энергии, преобразователи, аппараты, устройства защиты системы тягового электроснабжения. Улучшение эксплуатационных показателей подвижного состава и устройств электроснабжения, канализация обратного тягового тока.

11. Соответствие автореферата диссертации её содержанию

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы, кратко раскрывает проблемные зоны исследования, а также содержит полный перечень трудов по теме диссертации, автором или соавтором которых является соискатель.

12. Оценка содержания работы

Содержание и структура работы соответствуют поставленной цели исследования, критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного и логичного плана исследования.

13. Публикации по теме диссертационного исследования

Основные положения опубликованы в 14 работах общим объемом 12,3 п.л. (авторских – 8,7 п.л.), из них 5 статей в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, и 1 статья в журнале, входящих в базу *Scopus*.

Результаты работы прошли апробацию на следующих научно-практических конференциях: «Транспорт-2020», «Транспорт-2021», «Транспорт-2022», «Транспорт-2023» (Ростов-на-Дону, РГУПС); Всероссийской национальной научно-практической конференции «Современное развитие науки и техники» («Наука-2020») (Ростов-на-Дону, 2020 г.); XIII International Scientific Conference «Transport Problems-2021» – Silesian University of Technology (Katowice (Poland), 28-30.06.2021); Международной научно-практической конференции «Перспективы развития локомотиво-, вагоностроения и технологии обслуживания подвижного состава» (Ростов-на-Дону, 2021-2022 гг.); XI Международном симпозиуме «Eltrans - 2023. Электрификация и электрическая тяга: цифровая трансформация железнодорожного транспорта» (Санкт-Петербург, 31 мая – 2 июня 2023 г.).

14. Замечания по диссертационной работе

1. В работе недостаточно полно раскрыто, какие имеются перспективы реализации предлагаемых соискателем технических решений по повышению энергетической эффективности. Возможно ли их применение не только при ремонте уже находящихся в эксплуатации электровозов, но и при производстве новых?

2. Каким образом проводилась проверка предложений по применению электропроводящей смазки в коллекторно-щеточном узле тяговых электродвигателей (глава 5) в условиях эксплуатации?

3. В главе 4 диссертации имеется схема регулируемой системы вентиляции, предусматривающая двухскоростной режим работы мотор-вентиляторов. Не

будет ли рациональнее установка с плавным регулированием скорости работы мотор-вентиляторов на базе вспомогательного частотного преобразователя?

4. Возможно ли применение в учебном процессе отраслевых ВУЗов комплекса программно-аппаратного моделирования (глава 6 диссертации) для исследования работы электровоза в энергоэффективном режиме?

5. По тексту имеются орфографические ошибки, некорректное оформление графического материала и т.п.

Указанные замечания не снижают качества и ценности диссертации и не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования.

15. Заключение

Диссертация Мустафина Аделя Шамильевича «Повышение энергетической эффективности грузовых электровозов семейства «Ермак» за счет комплекса инновационных технических решений при заводском ремонте» выполнена на высоком научном и практическом уровне, на актуальную тему и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой изложены новые, научно обоснованные технические и технологические разработки, обеспечивающие решение важных задач в области повышения энергетической эффективности грузовых электровозов переменного тока семейства «Ермак» за счет комплекса инновационных технических решений при заводском ремонте.

Содержание диссертации в достаточной степени отражено в автореферате.

Диссертационная работа соответствует критериям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842.

Диссертация написана соискателем Мустафиным А.Ш. самостоятельно, обладает внутренним единством, а также содержит новые научные результаты и решения, которые свидетельствуют о личном вкладе соискателя в науку.

Таким образом, диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Мустафин Адель Шамильевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.9.3 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификации.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Электрическая тяга» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

Присутствовало на заседании 13 человек. Результат открытого голосования:

«за» 13 «против» 0 «воздержалось» 0

Протокол №2 от 20.09.2023.

Евстафьев Андрей Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электрическая тяга»
ФГБОУ ВО ПГУПС
(05.09.03 – Электротехнические
комплексы и системы)



А.М. Евстафьев

Кручек Виктор Александрович,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Электрическая тяга»
ФГБОУ ВО ПГУПС
(05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация)



В.А. Кручек

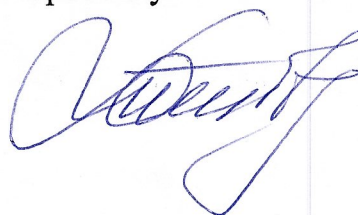
Цаплин Алексей Евгеньевич,
кандидат технических наук, доцент,
ученый секретарь кафедры «Электрическая тяга»
ФГБОУ ВО ПГУПС
(05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация)



А.Е. Цаплин

Я, Титова Тамила Семеновна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Мустафина Аделя Шамильевича и их дальнейшую обработку

д.т.н., профессор



Т.С. Титова