

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

44.2.005.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РОСЖЕЛДОР), по диссертации на соискание ученой степени доктора наук аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24.10.2023 № 15

О присуждении Гребенникову Николаю Вячеславовичу, Российская Федерация, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Научные основы повышения энергетической эффективности автономных локомотивов с электрической передачей мощности» по специальности 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация принята к защите 30.06.2023 г., протокол № 9, диссертационным советом 44.2.005.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС), РОСЖЕЛДОР, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2. Приказ Минобрнауки РФ 227/нк от 14.02.2023.

Соискатель Гребенников Николай Вячеславович, 23 марта 1985 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Динамика и энергоэффективность перспективных единиц подвижного состава, оснащаемых вентильно-индукторными электрическими машинами» по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» защитил в 2012 году в диссертационном совете, созданном на базе ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения». Работает доцентом на кафедре «Тяговый подвижной состав» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РОСЖЕЛДОР) с 2014 года по настоящее время.

Диссертация выполнена на кафедре «Тяговый подвижной состав» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РОСЖЕЛДОР).

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Зарифьян Александр Александрович, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» ФГБОУ ВО РГУПС.

Официальные оппоненты:

– Овчаренко Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент, ректор, профессор кафедры «Локомотивы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения»;

– Грищенко Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»;

– Гордеев Игорь Петрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ(МИИТ) в своем положительном отзыве, подписанном профессором кафедры «Тяговый подвижной состав» (ТПС), д.т.н., доцентом Смирновым Валентином Петровичем и доцентом кафедры ТПС, к.т.н., доцентом Баташовым Сергеем Ивановичем и утвержденном проректором д.т.н., профессором, членом-корреспондентом РАН Розенбергом Игорем Наумовичем, указала, что диссертация Гребенникова Николая Вячеславовича «Научные основы повышения энергетической эффективности автономных локомотивов с электрической передачей мощности» на соискание ученой степени доктора технических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения по повышению энергетической эффективности автономных локомотивов с электрической передачей мощности, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Диссертация по своему содержанию, научному уровню и завершенности исследования соответствует критериям, установленным в пунктах 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Гребенников Н.В., заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Соискатель имеет 95 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 53 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 40 работ (21 – в изданиях из перечня ВАК, 15 – в изданиях, входящих в базу Scopus и Web of Science, 2 патента РФ на полезные модели и 2 патента РФ изобретения) и 1 монография. Публикации полностью отражают содержание диссертации, в них рассмотрены вопросы анализа и исследования энергетической эффективности эксплуатируемых локомотивов, разработки компьютерных моделей оборудования подвижного состава, методов снижения потерь и повышения энергетической эффективности автономных локомотивов с электрической передачей мощности, применения метода конечных элементов для проведения тяговых расчетов, разработки электрических передач мощности и бесколлекторного тягового привода.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Основные публикации:

1. **Гребенников, Н.В.** Метод снижения потерь электроэнергии в тяговых двигателях автономного локомотива за счет применения дискретно-адаптивного управления / Н.В. Гребенников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1(89). – С. 234-240.

2. **Гребенников, Н.В.** Анализ энергетической эффективности эксплуатации пассажирского тепловоза ТЭП70БС / Н.В. Гребенников // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 5(95). – С. 17-22.

3. Киреев, А.В. Создание бесколлекторного тягового индукторного привода маневрового тепловоза / А.В. Киреев, Н. М. Кожемяка, **Н.В. Гребенников** // Вестник

Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2021. – № 4(56). – С. 38-44.

4. Зарифьян, А.А. Концепция повышения энергетической эффективности тепловозной тяги / А.А. Зарифьян, **Н.В. Гребенников**, Т.З. Талахадзе // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т. 9. – № 6. – С. 107.

5. **Grebennikov, N.**, Determination of Energy Consumption for Train Traction / N. Grebennikov, A. Shapshal // In: Guda, A. (eds) Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 509. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_13.

6. **Grebennikov, N.** Computer model for analyzing electromagnetic processes in switched reluctance machines with strong mutual inter-phase electromagnetic influence / N. Grebennikov, M. Tchavychalov, T. Talakhadze // Proceedings - 2019 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019, Sochi, 08–14 сентября 2019 года. – Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 8867802. – DOI 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867802.

7. Increasing the Energy Efficiency of Rail Vehicles Equipped with a Multi-Motor Electrical Traction Drive / A. Zarifyan, **N. Grebennikov**, T. Talakhadze [et al.] // 2019 26th International Workshop on Electric Drives: Improvement in Efficiency of Electric Drives, IWED 2019 - Proceedings : 25, Moscow, 30.01.2019 year. – Moscow, 2019. – P. 1-6. – DOI 10.1109/IWED.2019.8664283.

8. **Grebennikov, N.** Development of a computer model of a passenger train using data from devices for train operation parameters registration / N. Grebennikov, P. Kharchenko // Proceedings - 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021, Sochi, 17–21 мая 2021 года. – Sochi, 2021. – P. 908-913. – DOI 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446415.

На диссертацию поступили отзывы:

– **ведущей организации** – ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)). Отзыв положительный. Замечания: **1.** Проведенный обзор энергоэффективности эксплуатации локомотивов в п 1.1. включает в себя опыт эксплуатации электровозов, что представляется излишним в рамках заявленной темы диссертации. **2.** Проведенный анализ, в п.2 диссертации, энергетической эффективности локомотивов 2ТЭ25А, 2ТЭ25К^М, ТЭП70БС, ЧМЭЗ выполнен для «случайно отобранного тепловоза». Чем обусловлен такой выбор, почему не анализировалась энергоэффективность нескольких локомотивов одной серии? **3.** На наш взгляд, так и остался дискуссионным вопрос о количестве дизель-генераторных установок на магистральных автономных локомотивах (стр. 163-166 диссертации). Автор рассмотрел возможную экономию дизельного топлива, однако без внимания остались вопросы надежности, стоимости ремонта. **4.** В разработанной концепции предполагается использование «общего звена постоянного напряжения с фиксированным значением напряжения (не менее 600 В) для всех режимов работы тягового и вспомогательного оборудования», как в этом случае будет обеспечиваться согласованность работы тяговых генераторов и тяговых двигателей? **5.** Функциональная схема комплекта тягового электрооборудования (рис. 198 диссертации) для модернизируемого тепловоза предусматривает применение группового привода (один ТЭД на двухосную тележку), что не характерно для эксплуатируемых тепловозов с электри-

ческой передачей мощности с индивидуальным приводом колесных пар. Чем обусловлено применение группового привода?

– **официального оппонента** – д.т.н., доцента Овчаренко Сергея Михайловича (ректор, профессор кафедры «Локомотивы» ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»). Отзыв положительный. Замечания: **1.** Большинство математических выражений, описывающих исследуемые процессы, в работе приведено без указания размерностей составляющих, что затрудняет их анализ. Иногда по тексту диссертации вводятся новые обозначения физических параметров без их расшифровки. **2.** Формула 40. Утверждение, что КПД дизеля зависит от времени некорректно. Может быть мгновенное значение реализованного КПД на определенный момент времени? **3.** В работе слишком подробное описание всевозможных потерь энергии в элементах передачи, которые известны. Какова целесообразность приведения большого количества известных формул если в дальнейших расчетах они не используются? **4.** Рис.74. Ближе к $2 \cdot 10^5$ с по временной оси отмечен всплеск (резкое повышение КПД ДГУ, при этом на рис. 73 на этот момент времени отмечается стабильность процессов. Чем это можно объяснить? **5.** Табл. 30 - Рекомендуемое соответствие кол-ва работающих ТЭД от позиции контроллера машиниста. Как тронуться с места на 1 или 2 позиции контроллера машиниста на одном ТЭД? Далее - предлагается для маневрового локомотива 4 модульные энергетические установки – с точки зрения экономии энергоресурсов (топлива) может это и выгодно, только в при маневровой работе за 12 ч. количество переключений позиций контроллера машиниста доходит до 2500. При реализации таких режимов работы в процессе эксплуатации количество запусков и отключений дизелей будет большим. Процесс запуска дизеля – это одно из самых неблагоприятных условий работы дизеля, который в основном влияет на износ деталей и его надежность. **6.** С. 195. Вывод 2. При отключении части ТЭД по требуемой расчетной мощности и необходимой силе тяги возможно превышение требуемого крутящего момента на колесе по условиям сцепления колесо-рельс. Каким образом в модели управления тяговой передачей исключается боксование колесных пар? **7.** С. 327, вывод 10. Экономия топлива до 30 % - вызывает сомнение, т.к. в диссертационной работе практически нигде не приведены результаты испытаний с анализом расхода топлива. **8.** В работе имеются некоторые орфографические ошибки и погрешности.

– **официального оппонента** – д.т.н., проф. Грищенко Александра Васильевича (профессор кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»). Отзыв положительный. Замечания: **1.** В тексте автореферата и диссертации преимущественно упоминается «принцип масштабируемости используемого тягового оборудования» (стр. 12, 13, 15, 326), но кроме этого упоминается про «принцип масштабируемость нагрузки» (стр. 44, 143, 155). Из контекста и описания следует, что речь идет об одном и том же принципе. Автору следует внимательно относиться к применяемой терминологии. **2.** К приведенным в диссертации функциональным схемам передач мощности (рис. 19, 45, 61, 76, 98) следовало бы привести расшифровку используемых обозначений. **3.** В таблице 28 приводится оценка времени работы модулей энергетических установок магистральных локомотивов для различного исполнения, однако не производится оценка снижения расхода энергоресурсов. **4.** В выражении (49) не понятно, что автор имеет в виду под величиной «энергия, пере-

данная на выход электрического оборудования»? **5.** Как получены зависимости рисунок 17? **6.** Не понятна форма записи уравнений (146), (148), (149), (164), (166) и (168). **7.** Процесс передачи мощности (рисунок 10) больше похож на энергетический баланс. **8.** Имеются замечания редакционного характера: в автореферате и в диссертации в разделе «Структура работы» заявлено 42 таблицы (на самом деле 39 таблиц); название таблицы и оголовков таблицы 3 находится на стр.79, а сами параметры и их значения на стр. 80; в формуле 141 и до неё нет расшифровки обозначений W_K и W_T ; стр. 207-208 диссертации - напряжение обозначено символом «V», а ранее и далее символом «U»; в расшифровке обозначений нет единого подхода. В одних приводятся единицы измерения, а в других – нет.

– **официального оппонента** – д.т.н., проф. Гордеева Игоря Петровича (профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения»). Отзыв положительный. Замечания: **1.** Чем объясняется достаточно большое количество энергии, выработанной при нулевой скорости движения для 13 и 15 позиции контроллера машиниста тепловоза ТЭП70БС (рис. 58)? Как это учитывается в общей оценке энергоэффективности тепловоза? **2.** Автором в диссертации (стр. 93, 106, 134, 141) применен термин «среднеквадратичная скорость», значение которой было определено в ходе проведенных исследований, но при этом в дальнейшем полученные результаты не использовались. Какой смысл введённого термина? **3.** В таблице 25 (стр. 141) отсутствует значение эксплуатационного значения КПД выпрямительной установки тепловоза 2ТЭ25А. Что значит фраза «Недостаточно данных» для других определяемых значений тепловоза 2ТЭ25А? **4.** На рис.88, рис.90, рис. 93 представлены семейства кривых скорости тепловозов при движении на 0 позиции контроллера машиниста. Как можно объяснить такой режим? **5.** Для обозначения напряжения преимущественно используется символ «U», а иногда используется символ «V» (стр. 207, стр. 208, рис. 121, рис. 122). Автору следует придерживаться единства принятых обозначений. **6.** Имеются редакционные ошибки.

На автореферат поступило 13 отзывов. Все отзывы положительные.

1. Отзыв генерального директора АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ») д.т.н., проф. **Коссова В.С.**, заведующего отделом надежности и диагностики АО «ВНИКТИ» к.т.н. **Бенькович Н.И.** Замечания: **1.** В автореферате не отражено влияние предлагаемой концепции повышения энергоэффективности на выбросы вредных веществ автономными локомотивами. **2.** В таблице 1 приведены такие расчетные параметры как техническая скорость, эксплуатационный КПД тягового генератора/ выпрямителей/ тяговых электродвигателей, перерасход дизельного топлива. Необходимо пояснить физический смысл, который соискатель вкладывает в эти параметры и как он их определял по данным бортовых систем диагностики. **3.** В выводах автореферата п.10 указано, что «Приемочные и квалификационные тяговые испытания тепловоза ТЭМП-1тт подтвердили экономию дизельного топлива до 30 % и повышение производительности на 25 %», однако нет пояснений, что подразумевается под повышением производительности и как она оценивалась. **4.** Автору следовало бы указать на возможность (невозможность) использования полученных результатов для газодизельных, газомоторных и водородных локомотивов.

2. Отзыв ученого секретаря АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» д.т.н. **Науменко С.Н.** Замечания: **1.** Из автореферата не

понятно, как автор собирается реализовать способ отключения тяговых электродвигателей на тепловозе ТЭП70БС с неуправляемой выпрямительной установкой.

3. Отзыв профессора кафедры «Подвижной состав железных дорог» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» д.ф.-м.н., проф. **Погорелова Д.Ю.** Замечания: **1.** Методы построения компьютерных моделей недостаточно полно отражены в автореферате. **2.** Не указано, какие допущения принимались при разработке компьютерной модели механической и электрической частей локомотива.

4. Отзыв заведующего кафедрой «Подвижной состав железных дорог» ФГБОУ ВО «Донецкий институт железнодорожного транспорта» (ДонИЖТ) д.т.н., проф. **Паламарчук Н.В.** Замечания: **1.** Отсутствует расшифровка обозначений, приведенных на рис.11. **2.** Каким образом осуществляется выбор типа сетки и размеров конечных элементов при применении метода конечных элементов в тяговых расчетах?

5. Отзыв профессора кафедры «Приборостроение и биомедицинская инженерия» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» д.т.н., доц. **Лимаренко Н.В.** Замечания: **1.** Из автореферата неясно, как автор учитывает потери мощности в фильтре полупроводникового преобразователя электрической передачи переменного тока; **2.** Автором не рассмотрены вопросы обеспечения энергоэффективности в режимах электрического торможения; **3.** Подписи данных в координатном пространстве рис. 17 носят избыточный характер и затрудняют восприятие.

6. Отзыв профессора кафедры «Электрическая тяга» ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» д.т.н., проф. **Буйносова А.П.** Замечания: **1.** В автореферате недостаточно полно отражены практические результаты и технические характеристики разработанных комплектов электрических передач мощности. **2.** Тепловоз ТГМ6А имеет гидравлическую передачу мощности и в процессе его модернизации от прежнего тепловоза остается только рама, кабина и тележки. Разработанный тяговый двигатель ТРИД-320 крепится на раму локомотива и через карданную передачу осуществляется передача вращающего момента на колесные пары. Данный тяговый двигатель будет невозможно установить на другие серии тепловозов.

7. Отзыв директора Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства – филиала ОАО «РЖД», к.т.н. **Попова Ю.Н.** Замечания: **1.** Отсутствие информации по технико-экономической эффективности, подтверждающей целесообразность модернизации тепловоза ТГМ6А, а также срок окупаемости модернизированного локомотива на жизненном цикле за счет снижения эксплуатационных затрат на топливно-энергетические ресурсы. **2.** В основных результатах и выводах в автореферате в п.5 отмечено обеспечение стабилизации мгновенного значения КПД при частичной нагрузке локомотива на уровне, близком к значению КПД номинального режима при применении соответствующего алгоритма. В тексте автореферата (а также в тексте диссертации) указанный алгоритм не приведен. **3.** В автореферате автор предлагает оценивать преобразование энергии в тяговом оборудовании локомотива по значению коэффициента эффективности использования (КЭИ) (показывает отношение текущего КПД к его номинальному значению). При этом для проведенных экспериментальных исследований значение КЭИ не определялось. **4.** В тексте диссертации при формулировании основных положений концепции повышения энергетической эффективности автономных локомотивов не представлены технические решения к подвижному составу для эксплуатации в условиях низких температур окружающего воздуха. В зимний период увеличивается время работы дизельных

двигателей для поддержания температурных режимов, увеличивая непроизводительные потери в локомотивном хозяйстве. Отсутствие решений в данном направлении способно ограничить эффект от способов повышения энергоэффективности автономных локомотивов, изложенных в диссертации.

8. Отзыв заведующего кафедрой «Наземные транспортно-технологические комплексы» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» д.т.н., доц. **Воробьева А.А.** Замечания: **1.** Из автореферата неясно, каким образом будет обеспечено плавное подключение/отключение тяговых двигателей в режим тяги. **2.** В автореферате не указано, какое влияние будет оказывать дискретно-адаптивное управление электрической передачей мощности на продольно-динамические реакции в поезде.

9. Отзыв заведующего кафедрой «Локомотивы» Учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» к.т.н. **Френкеля С.Я.** Замечания: **1.** Из автореферата не понятно, выполнялось ли сравнение предлагаемого метода оптимизации траектории движения поезда с другими известными методами и в чём его преимущество. **2.** Из автореферата не видно, учитывались ли при моделировании локомотива переходные процессы в дизель-генераторной установке и их влияние на расход топлива тепловозом.

10. Отзыв заведующего кафедрой «Электромеханика и электрические аппараты» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова» д.т.н., проф. **Павленко А.В.** Замечания: **1.** В автореферате не раскрыта структура блоков, входящих в компьютерную модель тягового модуля передачи мощности автономного тягового подвижного состава. **2.** В автореферате указано, что компьютерная модель электрической машины учитывает потери в магнитопроводе, но при этом не приведена методика определения указанных потерь.

11. Отзыв генерального директора-главного конструктора ООО «Проектно-производственное предприятие «Дизельавтоматика» д.т.н. **Фурмана В.В.** Замечания: **1.** Из автореферата неясно, какие дизельные двигатели планируется применять в составе модульных дизель-генераторных установок. **2.** В автореферате не указано, какой алгоритм работы предполагается использовать для нагружения дизелей в составе модульной установки.

12. Отзыв профессора кафедры «Транспорт железных дорог» ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» д.т.н., проф. **Кулинича Ю.М.** и доцента кафедры «Транспорт железных дорог» ФГБОУ ВО ДВГУПС к.т.н., доц. **Кабалыка Ю.С.** Замечания: **1.** В целях работы, в частности, указана «разработка новых научно обоснованных технических решений». Однако по тексту автореферата не совсем ясно, какие конкретно технические решения были разработаны? **2.** Из текста автореферата не ясен смысл коэффициента k_2^* (формула 26) и в чем его отличие от коэффициента k_2 ?

13. Отзыв профессора кафедры «Электронные, радиоэлектронные и электротехнические системы» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» д.т.н., доц. **Федяевой Г.А.** Замечания: **1.** В автореферате недостаточно обоснован выбор типа электрических машин (асинхронные тяговые генераторы, реактивные индукторные двигатели) при разработке комплекта электрооборудования для модернизации тепловоза ТГМ6А. **2.** Имеются погрешности редакционного характера.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации, согласно «Положению о присуждении ученых степеней», обоснован проводимыми ими исследованиями в рассматриваемой области, наличием соответствующих ученых степеней, опубликованных научных трудов, опыта работы и непосредственной причастностью к специальности 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработаны:** научно обоснованная концепция повышения энергетической эффективности эксплуатации автономных локомотивов за счет применения масштабируемости используемого тягового оборудования автономного локомотива в зависимости от условий эксплуатации; новые математические модели процессов преобразования энергии в тяговом оборудовании локомотива, основанные на энергетическом подходе и пересчете паспортных технических характеристик, позволившие выявить зависимость между нагрузкой и энергоэффективностью тягового оборудования; новая комплексная компьютерная модель автономного локомотива с электрической передачей мощности с модульной структурой тягового оборудования, позволившая повысить быстродействие и точность проведения виртуальных экспериментов;

- **предложен** к использованию метод проведения анализа энергетической эффективности автономных локомотивов в условиях эксплуатации по данным средств регистрации параметров и метод конечных элементов для проведения тяговых расчетов;

- **доказана** перспективность применения концепции повышения энергетической эффективности эксплуатации автономных локомотивов, на основе принципа масштабируемости используемого тягового оборудования;

- **введены** понятия: «коэффициент эффективности использования оборудования»; «масштабируемость используемого тягового оборудования».

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказаны** новые возможности снижения потерь при преобразовании энергии в тяговом оборудовании локомотива и масштабируемость используемого тягового оборудования автономного локомотива в зависимости от условий эксплуатации, позволяющие снизить затраты на энергоресурсы в процессе эксплуатации;

- **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы: системного анализа теории и результатов эксплуатации автономных локомотивов; теории локомотивной тяги; теории электромагнитного поля и электро-механического преобразования энергии; современные методы компьютерного моделирования и конструирования тягового оборудования локомотивов;

- **изложены:** методология оценки энергетической эффективности эксплуатации автономных локомотивов с электрической передачей мощности по данным встроенных средств регистрации параметров бортовых систем автономных локомотивов; результаты анализа энергетической эффективности автономных локомотивов в условиях эксплуатации, на основе интеллектуальной обработки данных, встроенных средств регистрации параметров бортовых систем локомотивов; результаты теоретических исследований электро-механических процессов в различных режимах работы электрической передачи мощности локомотива;

- **раскрыты** проблемы неэффективного использования мощности локомотива в условиях эксплуатации и пути повышения энергоэффективности автономных локомотивов;

- **изучены** различные варианты модульной дизель-генераторной установки в зависимости от количества модулей для локомотивов различного рода службы;

- **проведена модернизация:** методов проведения тяговых расчетов; теоретических и методологических подходов к структуре и схемным решениям перспективных электрических передач мощности локомотива.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **разработаны и внедрены:** концепция, методы повышения и методы оценки энергетической эффективности режимов работы тягового привода автономных локомотивов, которые внедрены в проектно-конструкторской деятельности АО «Научно-технический центр «ПРИВОД-Н», производственной и эксплуатационной деятельности ОАО «РЖД» и АО «ЕВРАЗ НТМК», научно-исследовательской деятельности и в учебном процессе ФГБОУ ВО РГУПС;

- **определены:** перспективы практического использования принципа масштабируемости используемого тягового оборудования автономных локомотивов;

- **созданы и реализованы:** технические решения при проектировании электрических передач мощности; макет тягового модуля электрической передачи мощности; тяговый генератор ТРИГ-680, тяговые двигатели ТРИД-125, ТРИД-320 и тяговые преобразователи БПС-680, БПС-400, БПС-640, предназначенные для модернизации тепловозов;

- **представлены:** предложения по методам и способам повышения энергетической эффективности локомотивов, находящихся в эксплуатации; параметры и варианты тягового оборудования для модернизации маневровых локомотивов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **для экспериментальных работ** использованы макетные и опытные образцы электрических передач мощности; лабораторная база аккредитованного испытательного центра подвижного состава; поверенное испытательное оборудование, внесенное в государственный реестр средств измерения;

- **теория** построена на изучении и анализе трудов отечественных и зарубежных ученых в области исследований энергетической эффективности локомотивов; на фундаментальных законах теории электромагнитного поля и электромеханического преобразования энергии; согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

- **идея базируется** на анализе результатов эксплуатации локомотивов различного рода службы на сети железных дорог;

- **использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

- **установлено** совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике; что теоретические результаты достаточно согласуются с проведенными экспериментальными исследованиями;

- **использованы** современные методики обработки исходной информации; пакеты современных прикладных программ для расчета и проектирования электромагнитных систем, электрических схем и электрического оборудования включая программный комплекс «Универсальный механизм», Matlab/Simulink, FEMM.

Личный вклад соискателя состоит в:

- **включенном участии автора** на всех этапах подготовки диссертационной работы, разработке её теоретических и методологических положений, практических рекомендаций по повышению энергетической эффективности локомотивов;
- **сборе, обработке и интерпретации** данных, полученных с регистраторов и микропроцессорных систем управления локомотивов; экспериментальных данных;
- **разработке и внедрении** концепции повышения энергетической эффективности эксплуатации автономных локомотивов; методологии оценки энергетической эффективности эксплуатации локомотивов; методов повышения и оценки энергетической эффективности режимов работы тягового привода локомотива; комплексной компьютерной модели локомотива с модульной структурой электрической передачи мощности;
- **в разработке** экспериментальных стендов, программ и методик проведения испытаний;
- **совершенствовании** проведения тяговых расчетов путем применения метода конечных элементов;
- **разработке и исследовании** тягового оборудования электрических передач мощности для маневровых локомотивов;
- **непосредственном участии** при выполнении экспериментальных исследований на: макете электрической передачи мощности; опытном образце электрической передачи мощности; модернизированном локомотиве ТЭМП-1тт;
- **апробации** результатов исследования на всероссийских и международных научно-практических конференциях, семинарах и форумах, заседаниях кафедры «Тяговый подвижной состав» ФГБОУ ВО РГУПС и ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), заседании объединенного ученого совета ОАО «РЖД»;
- **подготовке** 53 публикаций по теме диссертационного исследования, в том числе 21 статьи в изданиях, включенных в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий, 15 статей, в изданиях, индексируемых в международных библиографических базах, 1 монографии и 4 патентов на полезные модели и изобретения.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания об отсутствии исследований условий возникновения боксования, влияния на ресурс дизельных двигателей и тяговых электрических двигателей при применении разработанной концепции, а также есть замечания о недостаточном освещении существующих методов энергооптимальных расчетов и замечания к обоснованию выбора типа бесколлекторных тяговых электрических машин.

Соискатель Гребенников Н.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию и обоснование научных положений, предложенных технических решений. В диссертационной работе основные задачи были связаны с развитием методологии анализа и разработкой концепции повышения энергетической эффективности автономных локомотивов.

Для исключения боксования производится контроль частоты вращения колесных пар по выведенным из тяги колесным парам, а при определении недостаточного сцепления в режим тяги вводятся все тяговые двигатели. Предполагается применение алгоритмов выравнивания ресурса дизельных двигателей и тяговых электрических двигателей, а основные принципы предлагаемой концепции направлены на

уменьшение потерь, что ведет к снижению общей тепловой нагрузки на тяговые электрические двигатели.

Выбор рационального типа электрических машин для локомотивов представляет собой многокритериальную задачу, зависящую от типа локомотива, технических возможностей разработчиков и необходимости учета преимуществ и недостатков различных типов машин, особенно в случае выбора бесколлекторных машин, требующих детального анализа конструкции и алгоритмов управления, с учетом, например, особенностей синхронных машин с постоянными магнитами, обладающих хорошими энергетическими характеристиками, но сопряженных с существенными недостатками, такими как высокая стоимость и чувствительность к снижению магнитного потока при нагреве.

На заседании 24 октября 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Гребенникова Николая Вячеславовича представляет собой завершенную научно-квалификационную работу в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения по структуре и режимам работы тягового оборудования, направленные на повышение энергетической эффективности автономных локомотивов с электрической передачей мощности, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие транспортной отрасли страны, и принял решение присудить Гребенникову Николаю Вячеславовичу ученую степень доктора технических наук по специальности 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

При проведении тайного голосования членов диссертационного совета в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.9.3, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 11, против – нет, недействительный бюллетень – 1.

Председатель диссертационного
совета 44.2.005.03
д.т.н., профессор, академик РАН

Колесников Владимир Иванович

Ученый секретарь диссертационного
совета 44.2.005.03
д.т.н., профессор

Финоченко Виктор Анатольевич

«24» октября 2023 г.