

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.347.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21 декабря 2023 г. протокол № 5

О присуждении **Орлу Егору Олеговичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение энергетической эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств» по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 12 октября 2023 года, протокол № 8 диссертационным советом 24.2.347.07, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета № 1106/нк от 23.05.2023 г.

Соискатель, Орел Егор Олегович, «17» октября 1995 года рождения, в 2019 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению «Электроэнергетика и электротехника», выдан диплом и присуждена квалификация «Магистр». В 2023 году завершил обучение в очной аспирантуре в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по

направлению 13.06.01 - «Электро- и теплотехника» (профиль Электротехнические комплексы и системы).

Диссертация выполнена на кафедре Электропривода и автоматизации промышленных установок в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Аносов Владимир Николаевич, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра Электропривода и автоматизации промышленных установок, профессор.

Официальные оппоненты:

Пантелеев Василий Иванович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, кафедра «Электроэнергетика», заведующий кафедрой;

Лукутин Борис Владимирович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, отделение электроэнергетики и электротехники, профессор.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Национальный исследовательский университет «МЭИ»**, г. Москва, в своем **положительном** заключении, подписанном Глушенковым Владимиром Александровичем, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, доцентом кафедры «Электротехнических комплексов и автономных объектов электрического транспорта», Румянцевым Михаилом

Юрьевичем, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, заведующим кафедрой «Электротехнических комплексов и автономных объектов электрического транспорта» и утвержденном Драгуновым Виктором Карповичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе **указала, что** научно-квалификационная работа Орла Егора Олеговича на тему «Повышение энергетической эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств» представляет собой законченную работу, выполненную на актуальную тему, полученные в работе результаты имеют большое значение для науки и практики в области современного регулируемого электропривода. Учитывая вышесказанное, можно считать, что Орел Егор Олегович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, публикаций в журналах, индексируемых базой Scopus – 1. Также автором получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Авторский вклад в опубликованных работах составляет не менее 75%, общий объем – 3,6 п.л.

В диссертации недостоверных сведений об опубликованных соискателем учёной степени работах нет.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

Публикации в рецензируемых научных изданиях (перечня ВАК РФ):

1. В.Н. Аносов, В.М. Кавешников, Е.О. Орел Структурное и имитационное моделирование источника питания как элемента системы управления // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – №9. – С. 448-453.

2. Аносов В. Н., Орел Е. О., Саидов С. А., Ярославцев М. В. Расчет оценки мощности тягового электропривода с помощью искусственных

нейронных сетей // Научно-технический журнал «Электропитание». - 2019. - №4. - С. 42-50.

3. Аносов В.Н., Орел Е.О. Разработка энергоэффективного нейрорегулятора момента тягового электропривода методом обучения с подкреплением // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2023. – №5. – С. 212-216.

4. Аносов В. Н., Орел Е. О., Попов Н.С. Способы обеспечения безопасности движения автономного электрического транспортного средства // Вопросы электротехнологии: науч.-техн. журн. - 2021. - №4 (33). - С. 65-73.

Свидетельство о государственной регистрации программы:

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023616536 Российская Федерация. Расчёт параметров тягового электродвигателя и буферного накопителя энергии автономного транспортного средства на основе заданного цикла движения : № 2023615698 : заявл. 29.03.2023 : опубл. 29.03.2023 / Е. О. Орел, В. Н. Аносов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». – EDN UCABSZ.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus:

6. V.N. Anosov, E.O. Orel, N.S. Popov Methods of ensuring motion safety of autonomous electric vehicle // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – №281.

На диссертацию и автореферат поступили 9 отзывов, все положительные. В них отмечается актуальность работы, важность и новизна научных результатов, практическая значимость работы.

1. Отзыв доктора физико-математических наук, профессора РАН, директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии Наук (ИСП РАН)» **Аветисяна А.И.** – замечания касаются выбора

алгоритма для обучения нейрорегулятора, а также описания методики подготовки данных для обучения нейронных сетей.

2. Отзыв доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Электрическая техника» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» **Бубнова А.В.** – замечания относятся к выбору архитектуры нейросетей и методам их обучения.

3. Отзыв доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Электроэнергетические системы и электротехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет водного транспорта» **Горелова С.В.** – замечания связаны с необходимостью дополнительных пояснений относительно выбора метода синтеза классического регулятора момента.

4. Отзыв доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электроэнергетические системы атомных станций» Института ядерной энергии и промышленности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет» **Завьялова В.М.** – замечания указывают на необходимость приведения информации о КПД системы бесконтактного подвода энергии, а также погрешности математической модели системы, обусловленной неравномерностью распределения индукции магнитного поля по площади в области передачи энергии.

5. Отзыв доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» **Зубкова Ю.В.** – замечания касаются отсутствия в автореферате информации о влиянии на энергетическую эффективность каждого предложенного

решения, проведения экспериментальных исследований, уточнения научной новизны математической модели источника бесконтактной передачи энергии, а также более подробного описания результатов проведенных исследований в автореферате.

6. Отзыв кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электротехнические комплексы и системы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» **Павлова П.П.** – замечания указывают на важность проведения натурального эксперимента и большего разнообразия тестовых испытаний для проверки устойчивости предлагаемых алгоритмов к внештатным ситуациям, а также более глубокой информации относительно проведения тонкой донастройки параметров целевой функции нейрорегулятора и вычислительных мощностей, на которых производилось обучение.

7. Отзыв кандидата технических наук, доцента, ведущего научного сотрудника кафедры «Безопасность информации и технологий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» **Смоленцева Н.И.** – в качестве замечания отмечено отсутствие экономического обоснования эффективности использования бесконтактного способа передачи энергии.

8. Отзыв кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой электроэнергетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет» **Хмара Г.А.** – замечания касаются более четкого обоснования актуальности проблемы бесконтактной передачи энергии на автономное транспортное средство через кабель, заложенный в дорожное полотно, а также проведения экспериментального исследования.

9. Отзыв кандидата технических наук, научного сотрудника кафедры электроэнергетики Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО

РАН «Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники» **Голицына А.А.** – замечания отсутствуют.

На все поступившие замечания Орлом Е.О. даны исчерпывающие ответы. Авторы всех отзывов положительно оценивают диссертацию и считают, что работа отвечает всем требованиям Минобрнауки Российской Федерации, а Орел Егор Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью, наличием достижений в области электропривода и электроэнергетики, высокой компетентностью в сфере научных интересов, наличием публикаций по тематике диссертационного исследования. **Пантелеев Василий Иванович** – доктор технических наук, профессор, является специалистом в области электроприводов переменного тока в прецизионных следящих системах, а также системного анализа электрического хозяйства предприятий и управления режимами электропотребления. **Лукутин Борис Владимирович** – доктор технических наук, профессор, специалист в сфере изучения систем электроснабжения с энергоисточниками различной физической природы. В **ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский институт «МЭИ»** на кафедре электротехнических комплексов автономных объектов и электрического транспорта активно занимается разработкой и исследованием электротехнических комплексов автономных объектов, наземных объектов со специализированным электропитанием и объектов для малой автономной энергетики. Сотрудники университета имеют большое количество публикаций по темам близким к диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель источника бесконтактной передачи энергии как элемента системы управления тяговым электроприводом,

позволяющая анализировать качественно новые закономерности в ходе исследования динамических свойств транспортного средства при изменении параметров источника питания;

предложены: методика оценки переменных состояния тягового электропривода с использованием искусственных нейронных сетей, что облегчает расчет и построение бездатчиковой системы управления, а также нетрадиционный подход к расчёту безопасной и энергоэффективной траектории транспортного средства при объезде препятствия, использование которой, в конечном итоге, обеспечит безаварийную эксплуатацию электротранспорта;

доказана перспективность использования бесконтактного подвода энергии и нейросетевого управления в тяговом электроприводе автономных транспортных средств;

новые термины **не введены**.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность повышения энергетической эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств за счёт внесения конструктивных изменений и использования энергооптимальных алгоритмов управления, расширяющих границы применимости источников бесконтактного подвода энергии и буферных бортовых накопителей энергии; **применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** алгоритмы искусственного интеллекта на основе существующих методов машинного обучения с подкреплением и с учителем для регулирования и оценки переменных состояния тягового электропривода;

изложены новые научно обоснованные технические идеи, имеющие существенное значение для повышения энергетической эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств;

раскрыто несоответствие традиционных методов расчета задачам поиска энергоэффективной траектории движения автономного транспортного средства;

изучены причинно-следственные связи влияния буферного накопителя энергии на качество переходных процессов при съезде транспортного средства с питающей линии;

проведена модернизация классического метода искусственных полей потенциалов с использованием алгоритмов динамического программирования для планирования энергоэффективной траектории движения автономного транспортного средства.

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

разработаны и внедрены в образовательную деятельность кафедры Электропривода и автоматизации промышленных установок Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» методики структурного и имитационного моделирования автономных объектов в части дисциплин «Методы искусственного интеллекта в мехатронике и робототехнике» и «Системы искусственного интеллекта и машинное обучение» для студентов факультета мехатроники и автоматизации;

определены перспективы практического использования разработанной и зарегистрированной в качестве интеллектуальной собственности программы для ЭВМ, позволяющей произвести расчёт технических характеристик для выбора тягового двигателя и буферного накопителя энергии транспортного средства на основе выбранных циклов движения;

созданы: наблюдатель для оценки момента тягового электропривода на основе искусственных нейронных сетей, который использован для построения бездатчиковой системы управления, нейросетевой регулятор момента тягового электропривода, позволяющий обеспечить экономию энергии на 25,8% по сравнению с классическим регулятором, синтезированным методом

систем подчиненного регулирования и даны практические рекомендации к их использованию;

представлены методические рекомендации по использованию буферного накопителя энергии с целью уменьшения потерь энергии в тяговом электроприводе.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов исследований по автономной навигации транспортного средства в различных условиях;

теория построена на известных, проверяемых данных и согласуется с авторскими, опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации, а также на разделах математического анализа, законов электротехники, теории электропривода и теории вероятности;

идея базируется на обобщении передового опыта по использованию искусственных нейронных сетей и бесконтактного подвода энергии для повышения энергетической эффективности тягового электропривода в исследуемом объекте управления;

использованы сравнения авторских данных, полученных на основе разработанных математических и имитационных моделей, с данными экспериментальных и теоретических исследований по рассматриваемой тематике;

установлено качественное и количественное совпадение результатов, полученных автором с использованием разработанных математических и имитационных моделей с результатами проведения физического эксперимента, что дает основание считать математические модели эффективными;

использованы современные методы сбора и обработки статистической информации, в частности методы искусственного интеллекта.

Личный вклад соискателя состоит в самостоятельном проведении литературного обзора по тематике исследования, изложении и обобщении

теоретических и практических результатов работы, выработке рекомендаций относительно компоновки тягового электропривода для обеспечения наибольшей энергоэффективности транспортного средства, выборе основных элементов тягового электропривода, создании математической модели источника бесконтактной передачи энергии, разработке наблюдателей для оценки переменных состояния системы тягового электропривода на основе искусственных нейронных сетей, синтезе нейросетевых регуляторов переменных состояния системы тягового электропривода с применением методики обучения нейронных сетей с подкреплением, разработке энергооптимальной системы управления автономной навигацией транспортного средства, подтверждении теоретических наработок с помощью моделирования в среде MATLAB Simulink, в интерпретации полученных данных, подготовке публикаций по выполненной работе.

Все результаты, приведенные в диссертации, получены соискателем либо самостоятельно, либо при его участии.

В диссертации решены все поставленные научные задачи, она соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, корректной постановкой цели и задач исследования, необходимым теоретическим обоснованием и проведением практических испытаний разработанных методов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. При обучении искусственной нейронной сети для замены датчика момента в качестве входных параметров заданы напряжение, ток и частота вращения. Но дело в том, что весьма важным показателем является температура, потому что от нее может зависеть момент сопротивления и очень многое в электрической машине. Этот параметр не был учтен при обучении нейронной сети.

2. Обычно, когда защищают диссертацию, при аргументации актуальности свои наработки сравнивают уже с имеющимися достижениями. Сложилось

впечатление, что свои достижения в части повышения энергетической эффективности разработки сравнивали со своими же предложениями. Почему не проводилось сравнение с уже имеющимися подобными разработками?

Соискатель, Орел Е.О. согласился с замечаниями на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. В ходе обучения в рамках диссертации было принято допущение о том, что работа производится при стабильной температуре. Однако параметры, которые подаются на вход в рамках обучения «с учителем» могут дополняться, и они улучшат качество регулирования, потому что будет учтено больше показателей внешней среды. Вдобавок, стоимость обучения данной нейронной сети очень маленькая. И процесс быстрый. Поэтому добавление новых параметров в количестве нескольких единиц не приведет к усложнению процесса. Система достаточно гибка.

2. Обзор литературы, который был проведен, позволил оценить текущее состояние прогресса в плане регуляторов и конструктивных особенностей, которые используются. Был выбран, в частности, метод СПР как распространенный метод синтеза классического регулятора. Действительно, существуют и альтернативные методы регулирования, но был выбран этот по ряду критериев, которые обоснованы в диссертации. В диссертации есть другая связь с отраслевыми методами измерения и бенчмарками. Это использование стандартизированного цикла движения, на основе которого производится исследование регулятора, синтезированного выбранным на основании литературного обзора классическим методом и предложенным в диссертации новым методом.

Диссертация Орла Егора Олеговича является научно-исследовательской работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки, направленные на повышение энергетической эффективности тягового электропривода автономных транспортных средств, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного

постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Орел Е.О., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

На заседании 21 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития электротранспортной промышленности страны присудить Орлу Е. О. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.4.2 рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за - 13, против - 1, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационного

Брованов Сергей Викторович

Ученый секретарь
диссертационного

Дыбко Максим Александрович

21 декабря 2023 года