

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

24.2.377.06, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук,

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18 апреля 2023 г., №15

О присуждении Верещагину Владиславу Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Тяговый электродвигатель с магнитоэлектрическим возбуждением для транспортных средств малой грузоподъемности» по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы принята к защите 07 февраля 2023 года (протокол № 8) диссертационным советом 24.2.377.06, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет», Минобрнауки России, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, приказ № 1172/нк от 12.10.2022 г.

Соискатель Верещагин Владислав Евгеньевич 30 мая 1979 года рождения.

В 2001 г. окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет» по специальности «Электромеханика», в 2002 г. окончил магистратуру государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет» по направлению «Автоматизация и управление».

С 2020 г. и по настоящее время обучается в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» по направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника» (профиль «Электротехнические комплексы и системы»).

С 2005 года по настоящее время Верещагин В.Е. работает на кафедре «Электромеханика и автомобильное электрооборудование» в должности старшего преподавателя ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре «Электромеханика и автомобильное электрооборудование» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – д.т.н., доц., Зубков Юрий Валентинович, профессор кафедры «Электромеханика и автомобильное электрооборудование», ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Оппоненты:

1. Ганджа Сергей Анатольевич, д.т.н., проф., профессор кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск;

2. Малеев Руслан Алексеевич, к.т.н., доцент, профессор кафедры «Электрооборудование и промышленная электроника», ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном к.т.н., доц., зав.кафедрой «Электромеханики, электрических и электронных аппаратов» Киселевым Михаилом Геннадьевичем, к.т.н., доц., доц. кафедры «Электромеханики, электрических и электронных аппаратов» Балем Владимиром Борисовичем и утвержденном проректором по научной работе д.т.н., проф. Драгуновым Виктором Карповичем, указали, что диссертационная работа Верещагина Владислава Евгеньевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные положения по проектированию и исследованию тяговых электрических двигателей. Полученные решения и выводы обстоятельно аргументированы и подтверждаются результатами практического внедрения. Верещагин Владислав Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации - 12 работ, в том числе 8 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 – статьи проиндексированы в базе Scopus. Объем научных изданий по теме диссертации составляет 3,3 печатных листов. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Зубков, Ю.В. Проектирование активной зоны якоря тягового двигателя / Ю.В. Зубков, **В.Е. Верещагин** // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2022 г. Том 30, №4 С.102–114.(авторский вклад – 0,35 п.л.)

2. Макаричев, Ю.А. Магнитоэлектрический двигатель-генератор автономного мобильного объекта / Ю.А. Макаричев, Ю.В. Зубков, **В.Е. Верещагин**, Д.А. Владимиров// ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. – М.: Изд. ООО КАБЕЛЬ. №3(66), 2021.С.114-123.(авторский вклад – 0,2 п.л.)

3. Зубков, Ю.В. Исследование работы интегрированного стартер-генератора при запуске двигателя внутреннего сгорания / Ю.В. Зубков, **В.Е. Верещагин**, С.Ю. Кауров // Вестник Самарского государственного технического

университета. Серия Технические науки. 2020. №3(67), С.125-138.(авторский вклад – 0,26 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. ведущей организации – ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»», г. Москва. Замечания: в работе отсутствуют пояснения об учете конвективного теплопереноса в зазоре при численном моделировании теплового поля, а в таблице 4.4 представлены результаты температурных испытаний двигателя, где температура достигала 177°C, но сведений о классе применяемой изоляции и параметрах системы охлаждения не приводится;
2. официального оппонента д.т.н., проф. Ганджи С.А. Замечание: необходимо было количественно оценить погрешность при переходе от трехмерной к двумерной задаче при численном моделировании магнитного поля под нагрузкой; не учтены потоки рассеяния и насыщение магнитопроводящих перемычек в магнитной системе;
3. официального оппонента к.т.н., Малеева Р.А. Замечания: недостаточно освещены вопросы процесса переноса тепла, а именно участие теплопроводности и/или конвекции; недостаточно уделено внимание генераторному режиму работы;
4. к.т.н., доц., зав. кафедрой «Электротехники и электрических машин» Кашина Я.М. и к.т.н., доц., доц. кафедры «Электротехники и электрических машин» Самородова А.В. ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г.Краснодар. Наиболее существенное замечание: из автореферата не ясно, как учитывалось насыщение магнитной цепи ТЭД;
5. д.т.н., проф., зав. кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» Харламова В.В. и к.т.н., доц., доц. кафедры «Электрические машины и общая электротехника» Москалева Ю.В., ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения», г.Омск. Наиболее существенное замечание: чем обусловлен выбор трех вариантов конструкции якоря (рисунок 4), один из которых с распределенной обмоткой и два других с сосредоточенной?
6. д.т.н., проф., зам. гендиректора по научной работе Гечи В.Я. и д.т.н., доц., начальника отдела общих научно-технических исследований Захаренко А.Б., АО Корпорация «ВНИИЭМ», г.Москва. Наиболее существенное замечание: отсутствует анализ динамики грузового транспортного средства с разработанным тяговым электродвигателем мощностью 80 кВт;
7. к.т.н., доц., зав. кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Доманова В.И., ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г.Ульяновск. Наиболее существенное замечание: отсутствуют исследования, связанные с влиянием климатического воздействия и не рассмотрена возможность перехода ТЭД в генераторный режим;
8. к.т.н., доц., зав. кафедрой «Электрооборудование и автоматика судов» Филоженко А.Ю., к.т.н., проф., проф. кафедры «Теоретические основы электротехники» Сологуба Н.П. и к.ф.-м.н., доц., зав. кафедрой «Теоретические основы

- электротехники», Седова В.А., ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского», г.Владивосток. Замечание: сравнение электрических двигателей для тяговых приложений на диаграммах удельной мощности приведено без указания частоты вращения этих двигателей;
9. д.т.н., проф., проф. кафедры «Электрооборудование» Немировского А. Е., ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда. Замечаний нет;
10. д.т.н., проф., проф. кафедры «Электромеханика» Исмагилова Ф.Р., ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г.Уфа. Замечание: не указаны условия проведения испытаний на нагревание опытного образца двигателя;
11. к.т.н., доц., зав.кафедрой «Электромеханика» Нестерова С.А., ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново. Замечание: в формуле 1 на стр. 9 используется произведение $4\pi^2 n^2$, вероятно полученное как произведение механической угловой частоты на электрическую. Однако такой подход не работает в случае, если число полюсов более двух;
12. к.т.н., доц. кафедры «Электрооборудование и электротехнические системы» Поповой М.В., ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», г. Балашиха. Наиболее существенное замечание: за счет чего стоимость двигателя становится более экономически выгодной и на сколько возможно снижение массогабаритных характеристик двигателя по сравнению с рассмотренными в сравнительной части первой главы диссертации?
13. к.э.н., директора Юнгблюдта С.В. и к.т.н., доц., зав.кафедрой «Электроэнергетическое оборудование электрических станций, подстанций, промышленных предприятий» Ярмаркина М.К., ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» (ПЭИПК), г. Санкт-Петербург. Замечание: выбор типа двигателя осуществлён на основании сопоставления технических характеристик, без экономического обоснования эффективности его применения. Это обстоятельство может сыграть определяющую роль в массовом производстве;
14. д.т.н., проф., проф. кафедры «Электротехника» Коняева А.Ю., ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург. Наиболее существенное замечание: при оценке теплового состояния двигателей (глава 4) не приводится схема принудительной вентиляции, что затрудняет оценку результатов тепловых расчетов;
15. к.т.н., и.о. зав. кафедрой «Электрические машины и аппараты» Тимошенко В.Н. и к.т.н., доц., доц. кафедры ЭМА Шестакова А.В., ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет им. А.С. Большева», г. Киров. Наиболее существенное замечание: не указаны класс нагревостойкости изоляции обмотки статора и способ формирования напряжения статорной обмотки разработанного синхронного двигателя.

Все отзывы положительные, в них отмечается актуальность, новизна

исследований и практическая значимость работы, а также то, что Верещагин Владислав Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью и опытом работы в области разработки электромеханических преобразователей с магнитоэлектрическим возбуждением, в том числе для электротехнических комплексов автотранспортных средств, а также публикациями по тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

- алгоритм и методика проектирования тягового двигателя по критерию максимума электромагнитного момента с учетом габаритных ограничений;
- алгоритм и методика проектирования индуктора тягового двигателя с оптимизацией по критерию минимума объема постоянных магнитов и учетом рабочих температурных нагрузок;

– опытный образец тягового электродвигателя с магнитоэлектрическим возбуждением;

– методики выбора электромагнитных нагрузок при разных способах охлаждения, конфигурации источников магнитного поля и типах обмотки якоря,

предложены:

– методика проектирования индуктора, включающая блок минимизации объема постоянных магнитов средствами численного моделирования магнитного поля и отличающаяся учетом формы магнитов и их расположения в индукторе;

– тепловая схема замещения и алгоритм оценки теплового состояния тягового электродвигателя (ТЭД), отличающийся уточняющими итерационными циклами, в ходе которых учитывается изменение электромагнитных свойств активных материалов при нагревании,

доказана:

– целесообразность применения тягового электрического двигателя магнитоэлектрического возбуждения с инкорпорированными в индуктор V-образными магнитами в полностью электрических или гибридных транспортных средств малой грузоподъемности;

– корректность предложенных методик проектирования и возможность их применения при разработке перспективных тяговых электрических двигателей транспортных средств,

новых понятий не вводилось.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

доказана: значимость уточненных методик, рекомендованных для проектирования перспективных тяговых электрических двигателей;

разработаны: алгоритмы и методики проектирования, уточняющие и совершенствующие методы расчета электрических машин рассматриваемого назначения;

предложены: методики исследования электромагнитных и тепловых процессов тяговых электрических двигателей, учитывающие особенности их работы в широком диапазоне изменения частоты вращения и момента;

изучены вопросы влияния температуры на энергетические характеристики постоянных магнитов и тягового двигателя.

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

разработаны и внедрены:

– методики электромагнитного и теплового расчетов, позволяющие проектировать тяговый электродвигатель и оптимизировать его активные части в соответствии с заданными техническими характеристиками;

– рекомендации по выбору электромагнитных нагрузок при разных способах охлаждения, конфигурации источников магнитного поля и типах обмотки якоря;

предложен, реализован и апробирован алгоритм оптимизационного проектирования ТЭД по критерию максимума момента;

доказана корректность результатов расчетов, принятых технических решений и границ варьирования независимых параметров при разработке ТЭД;

изложен алгоритм расчета ТЭД, позволяющий оптимизировать его конструкцию по максимуму электромагнитного момента и минимуму объема постоянных магнитов;

определены перспективы практического использования методик электромагнитного расчета, оценки температурного состояния ТЭД и направления дальнейших исследований;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы аналитического и численного моделирования при параметрической оптимизации активной зоны якоря, индуктора и оценке теплового состояния ТЭД;

создан опытный образец тягового электрического двигателя магнитоэлектрического возбуждения с инкорпорированными в индуктор V-образными магнитами, использующийся в НПО «Шторм» и учебном процессе СамГТУ;

представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие соответствие характеристик опытного образца требованиям технического задания на разработку ТЭД для транспортного средства малой грузоподъемности;

предложены рекомендации по конструктивному исполнению и выбору системы охлаждения ТЭД, обеспечивающие выполнение требований к эксплуатационным показателям и параметрам электропривода автомобиля малой грузоподъемности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ: результаты получены с применением поверенного и сертифицированного оборудования кафедры «Электромеханика и автомобильное электрооборудование» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» и НПО «Шторм»;

теория построена с использованием корректного математического аппарата и обоснованных допущений. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и полученных результатов базируется на доказанных и корректно использованных положениях математического анализа, сравнении результатов математического моделирования сданными, полученными экспериментальным путем;

идея базируется на обобщении и дальнейшем развитии передового опыта зарубежных и российских ученых, работающих в области электромеханики и электрооборудования, для электромобилей и транспортных средств с комбинированными энергетическими установками;

использовано сравнение авторских экспериментальных и расчетных данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике из независимых источников;

установлено, что полученные результаты не противоречат результатам, представленным в независимых источниках;

доказаны обоснованность теоретических выводов и положений, результатов аналитических расчетов и математического моделирования, которые подтверждены экспериментально и согласуются с данными, опубликованными в научной литературе;

использованы современные методы обработки теоретических и экспериментальных данных, полученных в результате математических расчетов и натурных экспериментов.

применительно к проблематике диссертации результативно использованы аналитические и численные методы решения уравнений, позволяющие получить результаты, совпадающие с экспериментальными данными с достаточной для практического использования степенью точности.

Личный вклад соискателя состоит в разработке методики электромагнитного расчета ТЭД и алгоритма оптимизационного проектирования по максимуму электромагнитного момента, включающего параметрическую оптимизацию сердечника якоря и обмотки; разработке методики проектирования индуктора с элементами оптимизации по минимуму объема постоянных магнитов средствами численного моделирования, учитывающей конфигурацию и расположение магнитов в сердечнике; разработке тепловой схемы замещения и алгоритма оценки теплового состояния двигателя, включающего итерационные циклы, учитывающие изменение электромагнитных свойств активных материалов и условий теплопередачи при нагревании.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания и вопросы:

1. Каким образом регулируется частота вращения двигателя? (проф. Лысов В.Е.)
2. Поясните постановку задачи оптимизации, что являлось варьируемыми параметрами, какие ограничения и методы оптимизации использовались? (проф. Макаричев Ю.А.)

Соискатель Верещагин В.Е. частично согласился с замечаниями и ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

На заседании 18 апреля 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Верещагину Владиславу Евгеньевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы за решение важной научно-технической задачи по разработке эффективного тягового магнитоэлектрического двигателя для транспортных средств малой грузоподъемности.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 9 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение степени - 10, против - 0.

Председатель диссертационного
совета 24.2.377.06

Стариков Александр Владимирович

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.2.377.06

Стрижакова Елена Владимировна

18 апреля 2023 г.