

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Верещагина Владислава Евгеньевича на тему «Тяговый электродвигатель с магнитоэлектрическим возбуждением для транспортных средств малой грузоподъемности» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

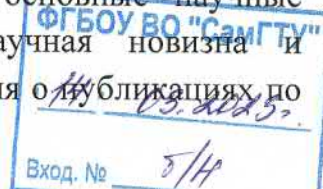
Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время активно развивается рынок электрических и гибридных автомобилей. Этому развитию способствуют их преимущества: экологическая безопасность, высокая энергетическая эффективность применения электрической тяги, простота и надежность электропривода и трансмиссии автомобиля, снижение эксплуатационных расходов. Существует большое количество кинематических схем электротрансмиссий гибридного и электротранспорта, но их основу составляет тяговый электродвигатель. Если он спроектирован с неоптимальными параметрами, то совершенствование остальных элементов кинематики теряет смысл. Значимость представленной диссертационной работы связана не только с современными тенденциями в области развития электрооборудования транспортных средств малой и средней грузоподъемности, но и с необходимостью разработки эффективного тягового магнитоэлектрического электродвигателя для автомобильного транспорта малой грузоподъемности. Исследования, представленные в диссертации, направлены на решение этих научных и технических задач, поэтому их следует признать важными и актуальными. Предлагаемые в диссертационной работе методы учитывают особенности работы тяговых электродвигателей в широком диапазоне изменения частоты вращения и момента, а представленные подходы и рекомендации к решению технических задач гармонично ложатся в основу инженерных методик и алгоритмов проектирования тяговых электродвигателей. Диссертация Верещагина В.Е. представляет собой теоретический интерес и практическую значимость.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Работа изложена на 139 страницах, из них 123 страниц основного текста, включая 65 рисунков и 16 таблиц. Список использованной литературы включает 117 наименований.

Диссертация имеет следующую структуру и логику изложения.

Введение посвящено раскрытию актуальности разработки тяговых электродвигателей для транспортных средств малой грузоподъемности. Дан анализ научных публикаций по теме диссертационного исследования, определены цели, задачи, методы исследований и основные научные результаты, выносимые на защиту, изложены научная новизна и практическая значимость работы, приведена информация о публикациях по



теме диссертации и ее апробации на конференциях, определен личный вклад автора в представленное исследование.

В первой главе по результатам анализа типов трансмиссий гибридных автомобилей и конструкций тяговых электрических двигателей выявлены их положительные стороны и отмечены недостатки. На основании проведенных исследований в качестве базового варианта тягового электродвигателя для коммерческого транспортного средства малой грузоподъемности выбран синхронный двигатель с магнитоэлектрическим возбуждением и вставленными в индуктор V-образными магнитами, как имеющей максимальную удельную мощность и степень использования активных материалов.

Вторая глава посвящена вопросам проектирования и оптимизации активной зоны двигателя. Определены базовые параметры электромагнитного расчета тяговых электродвигателей и границы их изменения в процессе проектирования, составлен алгоритм проектирования по критерию максимума электромагнитного момента.

По результатам численного моделирования магнитного поля тягового электродвигателя с различной структурой обмотки и конфигурацией магнитопровода показано, что предпочтительной в качестве обмотки якоря является распределенная обмотка. На основе теоретических положений главы 2 был спроектирован и изготовлен опытный образец мощностью 80 кВт для использования в приводе коммерческого гибридного автомобиля малой грузоподъемности и проведены его испытания. Испытания опытного образца тягового электродвигателя с распределенной обмоткой якоря подтвердили правильность принятых допущений и адекватность теоретических положений, лежащих в основе методики электромагнитного расчета.

В третьей главе разработана методика определения объема постоянного магнита, отличающаяся учетом формы магнитов и места их расположения в индукторе. Данные факторы напрямую влияют на размагничивание постоянных магнитов при воздействии реакции якоря. Осуществлена оптимизация объема постоянного магнита. Предложен подход к процедуре проектирования тягового электродвигателя и выбора материала постоянного магнита для обеспечения заданной мощности и крутящего момента с учетом стоимости, и способности постоянного магнита выдерживать размагничивающее действие температуры и внешнего поля. Для определения коэффициентов формы поля возбуждения и реакции якоря были исследованы магнитные поля (основное и реакции якоря) средствами пакета Ansys Maxwell, определены границы изменения объема постоянного магнита при различной рабочей температуре для базовой линейки материалов. Результаты оптимизационных расчетов использованы при создании опытного образца тягового двигателя.

В четвертой главе проведен анализ способов охлаждения тяговых электродвигателей, который показал, что наиболее приемлемыми вариантами построения системы охлаждения являются принудительное воздушное или жидкостное охлаждение с «водяной рубашкой» статора. Для выбора окончательного типа охлаждения был проведен уточненный анализ обоих вариантов. Основу теплового расчета составило неоднородное дифференциальное уравнение теплопроводности. Разработанный алгоритм расчета температуры, учитывает изменение электромагнитных свойств активных материалов при вариации температуры. Задача решалась для установившегося теплового состояния тягового электродвигателя. Для проверки аналитического расчета по разработанной тепловой схеме замещения проведено моделирование методом конечных элементов стационарного теплового поля. Моделирование показало пригодность аналитической модели для предварительной оценки теплового состояния тягового электродвигателя на стадии проектирования и при оптимизационных расчетах.

С целью повышения эффективности теплопереноса в зоне лобовых частей обмотки предложено оригинальное техническое решение: капсулирование композитным металлизированным компаундом. Сравнение результатов эксперимента и расчетов по тепловой схеме замещения показало приемлемую точность методики теплового расчета.

В заключении сформулированы результаты диссертационной работы.

Внедрение результатов диссертационной работы подтверждено актами, представленными в приложении.

Анализ диссертационной работы позволяет сделать вывод о том, что текст диссертации В.Е. Верещагина обладает внутренним единством и изложен технически грамотно с использованием принятой терминологии.

Научная новизна и теоретическая значимость

Основным научным результатом является дальнейшая разработка теории проектирования тяговых электродвигателей для электротрансмиссий транспортных средств. Диссертант:

- разработал алгоритм проектирования и методику электромагнитного расчета тягового электродвигателя, которые учитывают стоимость постоянных магнитов. Методика строится на основе параметрической оптимизации сердечника и обмотки якоря.

- предложил методику проектирования индуктора, которая включает блок минимизации объема постоянного магнита средствами численного моделирования магнитного поля и учитывает форму магнитов и их расположения в индукторе.

- усовершенствовал тепловую схему замещения и разработал алгоритм оценки теплового состояния тягового электродвигателя, который учитывает

наличие уточняющих итерационных циклов, в ходе которых определяется изменение электромагнитных свойств активных материалов при нагревании.

Полученные в работе математические модели и методики обладают достаточной общностью и могут быть использованы для исследования и проектирования различных типов тяговых электродвигателей малой и средней мощности для электротрансмиссий транспортных средств.

Достоверность результатов работы, обоснованность положений, выводов и результатов

Полученные научные результаты имеют высокую степень достоверности, поскольку получены были с применением хорошо проверенных методов анализа, таких метод конечных элементов, методы натурного макетирования с использованием аттестованного оборудования для проведения экспериментов. Адекватность разработанных математических моделей и методик подтверждается результатами экспериментального исследования.

Практическая ценность результатов работы заключается, прежде всего в создании конкретного опытного образца, который может быть прототипом серийных изделий. К практической значимости можно отнести следующее:

- в результате проведенных исследований установлена целесообразность использования тягового электродвигателя магнитоэлектрического возбуждения с вставленными в индуктор магнитами;
- разработанные методики электромагнитного, теплового расчетов позволяют проектировать ТЭД и оптимизировать его активные части с малыми временными затратами в соответствии с заданными техническими характеристиками.
- разработаны рекомендации по выбору электромагнитных нагрузок при разных способах охлаждения, конфигурации источников магнитного поля и типах обмотки якоря.

Практическая значимость работы подтверждается актами внедрения результатов исследования на промышленном предприятии и в учебном процессе.

Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в проектных организациях, конструкторских бюро и на промышленных предприятиях, занимающихся разработкой, проектированием и изготовлением тяговых электрических машин для электротрансмиссий транспортных средств.

Основные теоретические выводы для данного класса электрических машин следует применить в учебном процессе вузов технических специальностей.

Апробация диссертации и публикации

Основные результаты диссертации были широко представлены научной общественности и обсуждались на Всероссийских и Международных конференциях. Исследования представлены в печати, включая публикации в изданиях аккредитованных ВАК и изданиях, входящих в международную наукометрическую базу Scopus.

Автореферат отражает основное содержание диссертации и соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Министерства науки и высшего образования РФ. При использовании в тексте результатов других авторов сделаны соответствующие ссылки. Работа оформлена в соответствии с существующими требованиями.

Вопросы и замечания по работе

При общей положительной оценке к работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Из 123 страниц основного текста 31 страницу составляет анализ кинематических схем электротрансмиссий и выбор базового варианта двигателя, постановка задачи исследования. Не смотря на то, что материал интересный, он представляется избыточным. Часть информации можно было разместить в приложении, оставив объем под результаты исследования.

2. При численном моделировании магнитного поля под нагрузкой решалась двумерная задача без учета его распределения в осевом направлении и торцевых потоков рассеяния. Необходимо было количественно оценить погрешность при переходе от трехмерной к двумерной задаче.

3. В работе недостаточно обоснованы рекомендации по выбору размера воздушного зазора между статором и ротором, не учтены потоки рассеяния и насыщение магнитопроводящих перемычек в магнитной системе. Из диссертации не понятно, учитывалось ли влияние реакции якоря на параметры постоянных магнитов?

4. При оптимизации выбор максимального электромагнитного момента в качестве критерия следует считать правомерным, но количество трех варьируемых переменных, вероятно, недостаточно. На рисунке 2.19, отображающем картину распределения магнитного поля, видны ненасыщенные и недоиспользованные участки магнитопровода индуктора. В качестве варьируемой переменной в оптимизационную модель необходимо добавить угол между постоянными магнитами, или ширину постоянных магнитов.

5. При изменении температуры параметры магнита меняются. В процессе эксплуатации тягового двигателя в электротрансмиссии нагрузка на него изменяется в широких пределах в зависимости от характеристики трассы. Температурный режим при этом тоже меняется в большом диапазоне. Не ясно, каким образом учитывалось влияние температуры на объем постоянных магнитов индуктора?

6. Работа двигателя в электротрансмиссии во многом определяется источником питания. В диссертации не указаны характеристики тягового инвертора и аккумуляторной батареи. Каково их влияние на характеристики тягового электродвигателя?

7. В предлагаемой тепловой схеме замещения источником механических потерь являются аэродинамические потери. Учитывались ли потери в подшипниковых узлах и на вентиляцию?

8. Диссертация имела бы большую практическую значимость, если бы в ней на основе приведенных исследований была бы представлена инженерная методика проектирования тяговых электродвигателей этого класса. Эту работу диссертант не провел.

9. В диссертации представлены два метода теплового расчета: на основе метода схем замещения и на основе метода конечных элементов. Зачем были применены два метода для одной и той же задачи? Какой метод наиболее предпочтителен для практического применения?

10. Работа изобилует большим количеством аббревиатур и сокращений. Это в значительной мере затрудняет восприятие сложного научного материала.

Указанные замечания хотя и отражаются на качестве изложения, однако не меняют общего положительного мнения о данной очень полезной инновационной научной работе.

Заключение

Диссертационная работа Верещагина Владислава Евгеньевича на тему «Тяговый электродвигатель с магнитоэлектрическим возбуждением для транспортных средств малой грузоподъемности» соответствует паспорту специальности 2.4.2 - Электротехнические комплексы и системы (технические науки), является завершенной 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.

Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г., № 842 (ред. от 26.09.2022, п.28), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Использование результатов, выводов и рекомендаций для создания тягового электродвигателя с

магнитоэлектрическим возбуждением вносит существенный вклад в развитие электрических транспортных средств малой грузоподъемности.

На основании вышеизложенного считаю, что автор диссертационной работы, Верещагин Владислав Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 - Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент:

доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«Электропривод, мехатроника и
электромеханика» ФГАОУ ВО
«Южно-Уральский государственный
университет (национальный
исследовательский университет)»


 *Ганджа*

Ганджа Сергей Анатольевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск,

Адрес: Россия, 454080 г. Челябинск, проспект Ленина, 76

Тел./факс: +7 (351) 267-99-00, +7 (912) 081-09-02

E-mail: gandja_sa@mail.ru

Подпись Ганджи С.А. заверяю

Подпись, печать



Ганджа

ВЕРНО
Начальник службы
делопр. производства ЮУрГУ
Н.А. Цуканова