



**САМАРСКИЙ
ПОЛИТЕХ**
Опорный университет

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫС-
ШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

**«Самарский государственный
технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)**

Ул. Молодогвардейская, д.244, главный корпус
Самара, 443100.
Тел. (846) 2784-311. Факс (846) 2784-400.
E-mail: rector@samgtu.ru

08.05.2024 № 01.05.13./1364

59/16 100

Исполняющему обязанности проректора по научной работе федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

доктору технических наук, профессору
Равиковичу Ю.А.

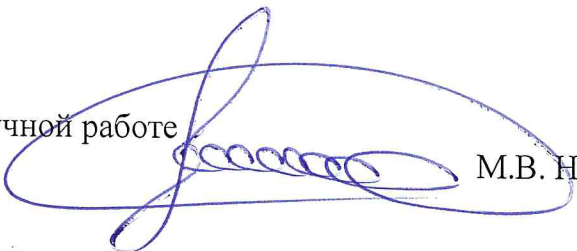
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляем Вам отзыв ведущей организации на диссертацию Подгузова Владимира Андреевича «Электромеханический накопитель энергии с магнитным ВТСП подвесом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Приложение - отзыв 2 экз.

Первый проректор - проректор по научной работе
д.т.н., профессор

 М.В. Ненашев

Исполнитель:
Ю.А. Макаричев
Т.(846)2423790

Отдел документационного
обеспечения МАИ

17 05 2024 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор-проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», д.т.н., профессор

М.В. Пенашев

2024г.



ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» на диссертационную работу **Подгузова Владимира Андреевича** «Электромеханический накопитель энергии с магнитным ВТСП подвесом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. - Электротехнические комплексы и системы.

Актуальность исследования

Для обеспечения потребителей качественной электроэнергией требуется обеспечить бесперебойность питания и резервирование мощности в энергосистеме. В энергосети часто возникают неисправности, причиной которых могут быть повреждения линий электропередач, перегрузки, неисправная работа вспомогательного оборудования. Стоимость перерыва в энергоснабжении для различных потребителей измеряется в широком диапазоне, в зависимости от рода их деятельности и особенностей производства. Одним из решений этой проблемы является использование накопителей энергии на различных физических принципах, которые позволяют обеспечить резервирование мощности и работают на нагрузку параллельно с сетью. Также накопители могут работать некоторое время автономно, в качестве аварийного источника питания для обеспечения требования бесперебойности электроснабжения.

Одним из перспективных типов накопителей энергии является электромеханический накопитель энергии (ЭМН) – устройство для накопления и хранения энергии на основе вращающегося маховика с последующим преобразованием в электрическую энергию в мотор – генераторе. В настоящее

время большое внимание уделяется исследованию магнитных опор ЭМН на основе высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) элементов и постоянных магнитов (ПМ). Такие магнитные ВТСП опоры обеспечивают значительное снижение потерь кинетической энергии при вращении маховика. Как показывают исследования, использование в составе ЭМН магнитного ВТСП подвеса позволяет обеспечить сохранение запасенной энергии практически без потерь. Однако, исследования подобных электротехнических комплексов в настоящее время не выходят за рамки лабораторных установок и содержат много не решенных научных, технических и технологических проблем.

Поэтому работа, посвящённая решению теоретических проблем, связанных с разработкой комплексной методики расчета ЭМН, включая расчет мотор-генератора без ферромагнитопроводов статора и ротора, прочностной расчет маховика, магнитной опоры, ВТСП подшипников и поиску новых технических решений, способствующих устранению недостатков существующих комплексов, является весьма актуальной и представляет несомненный практический интерес.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, показано научное и практическое значение проведенной работы. Обозначены методы исследования, представлены положения, выносимые на защиту, результаты апробации и структура работы.

В первой главе представлен обзор разработок в области создания ЭМН, а также проектов по созданию крупных аварийных источников бесперебойного питания на основе электромеханических накопителей энергии. Рассмотрены основные направления работ по созданию ЭМН в ведущих мировых научных центрах. Анализ разработок ЭМН показал, что при их создании возможно снижение эксплуатационных расходов, времени технического обслуживания, а также увеличение энергоэффективности и экологичности систем аварийного и бесперебойного электропитания ответственных потребителей наземного назначения и специального транспорта.

Показано, что применение бесконтактных ВТСП подшипников позволяет существенно увеличить время хранения запасенной энергии.

Во второй главе представлены реализованные разработки кинетических и электромеханических накопителей энергии в зависимости от области их применения. Показано, что главным преимуществом конструкции ЭМН

является то, что они обладают хорошей масштабируемостью и модульностью в зависимости от назначения и области их применения. В настоящее время в России и за рубежом реализован ряд конструкций ЭМН различного назначения и мощности, но самыми энергоэффективными являются электромеханические накопители с применением ВТСП магнитных подшипников. В настоящее время реализованы проекты ЭМН с большим уровнем запасенной удельной энергией, но относительно малым временем хранения запасенной энергии из-за существенных потерь на трение или, наоборот с продолжительным временем хранения запасенной энергии, но при этом, максимальный уровень запасенной удельной энергии не превышает 1 МДж.

В третьей главе описаны математические модели основных и вспомогательных элементов ЭМН с ВТСП магнитным подвесом. Приведены исследования потерь на трение в комплексах ЭМН. Разработаны методики расчета запасенной энергии и ее потерь при хранении и преобразовании. Методом конечно-элементного анализа проведены прочностные расчеты маховика и его стальной оболочки.

Для перспективных конструкций магнитного подвеса на основе ВТСП проводников определены требуемые параметры осевой бесконтактной опоры маховика, его размеры и силовые характеристики.

Проведен расчет сопряженного с маховиком мотор-генератора и его характеристик в двигательном и генераторном режимах.

В четвертой главе приведена конструктивная схема ЭМН, методика расчета аэродинамических потерь ЭМН с запасенной энергией 0,5 МДж, описаны проведенные расчеты мотор-генератора ЭМН, маховика и магнитного подвеса, проведены экспериментальные исследования ЭМН на захолаживание и холостом ходу.

Разработанная конструкция электромеханического накопителя энергии с ВТСП магнитным подвесом и мотор-генератором с 3-х фазной обмоткой на неподвижном якоре и индуктором с постоянными магнитами позволяет накапливать энергию $\sim 0,5$ МДж и обеспечивает устойчивую работу энергосистемы как в режиме накопления и хранения энергии, так и в режиме питания нагрузки.

Также были проведены комплексные испытания ЭМН-0,5 МДж в рабочих режимах работы при плавном разгоне маховика и его торможении при генераторном режиме ЭМН.

В пятой главе приведено описание, основные параметры, конструктивные особенности ЭМН с запасенной энергией 5 МДж, а также результаты расчета и проектирования и экспериментальных исследований макетного образца с применением вакуумирования корпуса и безвакуумирования.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

Основные результаты диссертации

В итоге проделанной работы, решены следующие задачи:

- 1) выполнен обзор литературных данных в области электромагнитных накопителей энергии, показывающий, что ЭМН обладают высокой энергоемкостью, экологичностью, высоким ресурсом и их применение перспективно в качестве аварийных источников питания ответственных потребителей;
- 2) выбраны рациональные конструктивные схемы ЭМН;
- 3) созданы методики и проведены расчеты основных узлов ЭМН: мотор-генератора, маховика, магнитной опоры и ВТСП магнитных подшипников;
- 4) проведены экспериментальные исследования макетных образцов ЭМН с запасенной удельной энергией до 5 МДж.

После испытаний изготовленных образцов, компоненты электромеханического преобразователя вошли в комплект поставочных изделий для ИМ СУЗ промышленных установок ядерной энергетики.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложен комплексный подход к разработке ЭМН с ВТСП магнитным подвесом.
2. Разработаны новые конструкции и методики расчета ВТСП магнитных подвесов с постоянными магнитами.
3. Впервые предложено использовать магнитную опору с целью левитации маховика в составе ЭМН для обеспечения его длительной стабильной работы.

4. Разработана новая методика расчета синхронной электрической машины без ферромагнитопровода.
5. Предложена и экспериментально отработана перспективная технология создания многослойного маховика с бандажированием из углеволоконного материала.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов диссертационной работы заключается в обосновании и разработке:

- инженерной методики расчета синхронных электрических машин с немагнитным индуктором и якорем;
- технологии создания бесконтактных подшипников на основе ПМ и ВТСП с охлаждением жидким азотом;
- единственного в России ЭМН с магнитным ВТСП подвесом с запасаемой энергией до 5 МДж;
- коррекции методики определения аэродинамических потерь при вращении маховика в зависимости от его геометрии и окружающей его среды;
- верификации теоретических расчетов на основе конечно-элементного моделирования и экспериментальных исследований макетных образцов ЭМН;
- новых технологических решений ЭМН, которые дали возможность существенно увеличить время хранения запасенной энергии в ЭМН.

Реализация результатов работы

Основные положения и рекомендации диссертационной работы использованы:

- в учебном процессе кафедры 310 ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт» (НИУ) в виде аналитических методик расчета немагнитных электрических машин, численной методики расчета аэродинамических потерь ЭМН и инженерных расчетов ВТСП подвеса накопителей энергии.

Обоснованность и достоверность результатов исследования обеспечивается использованием фундаментальных методов математической физики (метода конечных элементов и специального программного обеспечения, реализующего этот метод) и теории поля, теории электрических и магнитных цепей, теории электромеханического преобразования энергии, уравнения связи между электромагнитными нагрузками и главными размерами машины, результатами натурных исследований и экспериментов.

По материалам диссертации опубликовано 23 научных работы, включая 3 статьи в журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК РФ и 10 статей в изданиях, индексируемых международными базами Scopus и WoS.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы.

Замечания по работе:

1. Термин «обезвешивание» (стр.5 автореферата и др.) неоправданное нововведение автора – в теории электромагнитных подвесов и в научно-технической литературе используется устоявшийся термин «левитация».

2. На стр.13 автореферата и в диссертации делается утверждение, что «...основными потерями ЭМН являются потери на трение в опорах и трение ротора о воздух...» из чего дается рекомендация о применении бесконтактных опор на основе ВТСП. Но в работе нет хотя бы приближенной оценки мощности, необходимой для поддержания криогенного состояния ВТСП. Кроме этого в любом электромагнитном подвесе нельзя избежать момента сопротивления, вызванного «магнитным трением» от гистерезиса и вихревых токов в роторе электромагнитного подшипника.

3. Утверждение «...мотор-генератор следует делать из немагнитного материала (нержавеющая сталь) или вовсе безжелезным (композитные материалы, стекловолокна, пластмассы)...» (стр.15 автореферата) следовало бы подтвердить расчетами. «Безжелезные» электрические машины требуют увеличения массы (объема) постоянных магнитов в несколько раз.

4. Не ясно, для каких исходных параметров рассчитан КПД макетного образца ЭМН-0,5 МДж (90-99%, стр 17 АР)? Учитывались ли потери в двигателе и частотном преобразователе при разгоне и в режиме генерации электроэнергии? Входили ли потери на функционирование криоустановки в расчет?

5. Из работы не ясно, как обеспечивались стандартные параметры выходного напряжения и частоты при уменьшении частоты вращения ротора? При какой частоте вращения прекращается токоотдача?

6. В диссертации не указан вклад автора в разработку и испытания экспериментальной установки ЭМН 5 МДж? В чем заключалась его роль?

7. В диссертации некоторые рисунки (4.11, 4.16, 4.20 и др.) оформлены с ошибками указателей позиций, или без их указания, или позиции не расшифрованы.

Заключение по работе

Несмотря на отмеченные недостатки, представленная соискателем диссертационная работа отвечает требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор – Подгузов Владимир Андреевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 - Электротехнические комплексы и системы.

Диссертационная работа и отзыв на диссертацию и автореферат обсуждены и одобрены на научно-техническом семинаре кафедры «Электромеханика и автомобильное электрооборудование» ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет, протокол № бот02 мая 2024 г.

Заведующий кафедрой «Электромеханика и автомобильное электрооборудование» ФГБОУ ВО «СамГТУ»,

д.т.н., профессор
Дата 02.05.2024г.

Макаричев Юрий Александрович

Подпись Макаричева Ю.А. заверяю
Ученый секретарь ФГБОУ ВО «СамГТУ»



Ю.А. Малиновская

Почтовый адрес: 43100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Телефон: +7(846) 278-43-04

Адрес электронной почты: nenashev.mv@samgtu.ru

Организация — место работы: федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Электромеханика и автомобильное электрооборудование»

Должность: заведующий

Web-сайт организации: <https://samgtu.ru/>

С отзывами ознакомлен

17.05.2024