



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

**«Ивановский государственный
энергетический университет
имени В.И. Ленина»
(ИГЭУ)**

Рабфаковская ул., д. 34, г. Иваново, 153003
тел.(4932) 269-999, факс (4932) 385-701
e-mail: office@ispu.ru <http://игэу.рф> <http://ispu.ru>
ОКПО 02068195; ОГРН 1033700074430
ИНН/КПП 3731000308/370201001

№

На № 310-18/12 от 28.03.2024

Исполняющему обязанности проректора
по научной работе Федерального
государственного бюджетного
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!

Направляю Вам отзыв официального оппонента 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.

Профессор кафедры «Электромеханика»,
д. техн. наук, профессор

Казиков Юрий Борисович

Дата составления отзыва " 7 " мая 2024 г.

Подпись д. т. н., профессора Казакова Ю. Б. заверяю:

Ученый секретарь
Ученого совета ИГЭУ



Вылгина Юлия Вадимовна

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Казакова Юрия Борисовича
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»

На отзыв представлены:

- диссертация, изложенная на 212 страницах (из них 191 страницы основного текста, 27 таблиц, 112 рисунков), состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка опубликованных по теме диссертации работ из 23 наименований, списка использованных источников из 115 наименований, трех приложений;
- автореферат диссертации.

Актуальность темы диссертации

Работа посвящена разработке и исследованию электромеханических накопителей энергии с магнитным высокотемпературным сверхпроводниковым (ВТСП) подвесом. Электромеханические накопители энергии (ЭМН) обладают высокой способностью к циклированию, масштабируемостью и модульностью. На основе единичного ЭМН могут быть построены «матричные» системы накопления энергии на большие уровни мощности и запасаемой энергии, как подвижного (контейнерного), так и стационарного исполнения. Мощность ЭМН ограничивается параметрами мотор-генератора. По показателю удельной энергии и удельной мощности ЭМН находятся между аккумуляторными батареями и сверхпроводниковыми индуктивными накопителями. ЭМН дешевле сверхпроводниковых накопителей и аккумуляторных батарей, проще в обслуживании, срок службы у них выше. В настоящее время ЭМН используются в качестве аварийных источников питания, источников

бесперебойного питания для ответственных и специальных потребителей. В связи с этим, тема диссертационной работы, посвященная разработке и исследованию электромеханических накопителей энергии с магнитным ВТСП подвесом, является актуальной и представляет значимый интерес для специалистов, работающих в области электромеханики, электротехники, электроэнергетики и технической сверхпроводимости.

Поставленные цель диссертации и задачи диссертации по разработке методик расчета и проектирования, экспериментального исследования электромеханического накопителя энергии с электромагнитными подшипниками на основе высокотемпературных сверхпроводниковых элементов и высококоэрцитивных постоянных магнитов соответствуют направлениям исследования научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Для достижения цели и решения задач диссертации автором использовались методы математической физики, электродинамики, электромеханики и прикладной сверхпроводимости, пакеты математического моделирования, эскизного твердотельного конструирования, численные методы компьютерного моделирования магнитных полей и механических напряжений на основе метода конечных элементов, реализованные в распространенных программных комплексах. Результаты расчетов сравнивались с результатами экспериментальных исследований электромеханических накопителей с магнитным ВТСП подвесом с запасенной энергией 0,5 МДж и 5МДж.

Оценка содержания и оформления диссертации. Диссертация написана ясно, использованная терминология и стиль соответствуют общепринятым нормам. Структура диссертации традиционная, имеет внутреннее единство, по каждой главе и диссертации в целом сделаны выводы, которые отражают результаты работы. Даны рекомендации практического применения результатов диссертации и перспективы развития темы. При использовании в

тексте диссертации результатов других авторов сделаны соответствующие ссылки.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи диссертации, показана научная новизна и отражена практическая значимость исследований, приведены положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена рассмотрению современных российских и зарубежных разработок электромеханических и кинетических накопителей с разным уровнем запасенной удельной энергии.

Вторая глава посвящена рассмотрению электромеханических накопителей энергии в зависимости от их назначения. Приведены основные характеристики рассмотренных образцов, показано, что самыми энергоэффективными являются ЭМН с применением в их конструкции ВТСП подшипников с магнитным подвесом.

В третьей главе приведены расчеты основных узлов ЭМН по оригинальным методикам, созданным автором (мотор-генератор, магнитная опора, маховик, магнитные ВТСП подшипники).

В четвертой главе проведена отработка концепции создания ЭМН с магнитным ВТСП подвесом на маломасштабной модели. Приведены результаты экспериментальных исследований модели, доказывающие целесообразность предложенных методик расчета и верифицирующие методики расчета аэродинамических потерь ЭМН с магнитным ВТСП подвесом.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований разработанного образца ЭМН с магнитным ВТСП подвесом с запасенной энергией 5 МДж, подтверждающие результаты расчетов и рациональность применения использованных узлов.

Научная новизна:

1. Впервые предложен комплексный подход к разработке электротехнического комплекса ЭМН с ВТСП магнитным подвесом,

включающий совместную разработку мотор-генератора, маховика, магнитной опоры и ВТСП магнитных подшипников.

2. Разработана новая методика расчета полностью «безжелезных» синхронных электрических машин, основанная на аналитическом и численном расчете двухмерных полей в активной зоне машины.

3. Разработана методика расчета ВТСП подшипников и магнитной опоры электромеханических накопителей энергии, отличающаяся уточненным расчетом аэродинамических потерь при вращении с учетом конструкции маховика, его разогрева и изменения аэродинамического сопротивления.

Практическая значимость диссертации заключается в разработанной инженерной методике расчета синхронных электрических машин с немагнитными сердечниками для уменьшения магнитных потерь и увеличения времени работы ЭМН, в предложенном принципе создания бесконтактных подшипников на основе ПМ и ВТСП с охлаждением жидким азотом, разработке ЭМН с магнитным ВТСП подвесом с запасаемой энергией до 5 МДж, в использовании магнитной опоры с целью обезвешивания маховика в составе ЭМН для обеспечения его длительной стабильной работы, что позволило увеличить время хранения запасенной энергии в ЭМН. Результаты диссертации перспективны при разработке ЭМН с магнитным ВТСП подвесом в качестве резервных и аварийных источников питания для медицинских центров, предприятий атомной, химической и металлообрабатывающей промышленности, компьютерных центров.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует следующим пунктам направлений исследования научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы:

п.1. Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов

электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования.

п.2. Разработка научных основ проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов.

п.4. Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов диссертации обусловлена корректным использованием современных математических методов анализа электромеханического преобразования энергии, компьютерным моделированием электромеханического накопителя энергии с магнитным ВТСП подвесом методом конечных элементов в распространенных программных комплексах, подтверждается сравнительным анализом аналитических решений с результатами численного моделирования, удовлетворительным совпадением расчетных результатов с результатами экспериментальных исследований.

Содержание диссертации в достаточной степени отражено в 23 публикациях автора, включая 3 статьи в журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, материалах научных конференций и семинаров.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертации обсуждались на всероссийских и международных научных конференциях.

Соответствие автореферата содержанию диссертации. Автореферат в компактном виде отражает содержание и основные положения диссертации, содержит выводы и полученные результаты. По автореферату можно оценить значимость проведенных исследований.

По содержанию диссертации имеются следующие **замечания**:

1. Не в достаточной мере проработана система запуска и регулирования ЭМН с ВТСП магнитным подвесом.

2. Не рассмотрены методы борьбы с гироскопическим эффектом, возникающим от вращения Земли, при длительном использовании устройства.

3. В пункте 2 научной новизны заявлено, что разработаны новые конструкции ВТСП магнитных подвесов с постоянными магнитами, но не приведены заявки на патенты.

4. В диссертации представлена методика расчета аэродинамических потерь ЭМН, в приложении по этой методике проведена расчетная оценка аэродинамических потерь маломасштабной модели ЭМН, но сопоставление с экспериментальными результатами отсутствует.

5. Встречаются стилистические и смысловые недочеты: на стр. 14 диссертации и в автореферате заявлено, что диссертация содержит 6 глав, но в оглавлении и тексте представлены только пять глав; пункты 10-12 заключения не подтверждены материалами в тексте диссертации; на стр. 98 утверждается, что энергетические параметры немагнитной машины на 30 % хуже, чем параметры машины из шихтованной электротехнической стали, но в тоже время рекомендуется для уменьшения потерь на перемагничивание железа статора, мотор-генератор выполнять из немагнитных материалов и на стр. 100 (Табл. 3.12) приводится его КПД (96,4 – 98,7) %.

Приведенные замечания в целом не меняют общего положительного впечатления о представленной диссертационной работе.

Заключение

Диссертация Подгузова Владимира Андреевича «Электромеханический накопитель энергии с магнитным ВТСП подвесом» выполнена на актуальную тему, содержит решение важной научно-технической задачи, обладает научной новизной, практической значимостью, является самостоятельной и законченной научно-квалификационной работой, которая по содержанию, объекту,

