

**Отзыв официального оппонента**

**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** диссертации В.А. Подгузова обусловлена важностью повышения качества и бесперебойности энергоснабжения различных потребителей России. Решением этой задачи является использование накопителей энергии которые позволяют обеспечить резервирование мощности, будучи включенными параллельно основной питающей сети. Накопители могут быть созданы на различных физических принципах, но данная работа посвящена исследованию и разработке электромеханических накопителей энергии (ЭМН). При этом, для уменьшения потерь энергии в подшипниковых опорах используется магнитный подвес высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). ЭМН по своим удельным показателям занимают нишу между аккумуляторными батареями и сверхпроводниковыми накопителями энергии (СПИН). При этом, несмотря на меньшие удельные показатели по сравнению со СПИН, ЭМН дешевле и надежнее, так как в его основе – традиционная электрическая машина, тогда как в СПИН – сверхпроводящий провод, использование которого сопряжено с большим количеством сложностей, например, возможный его переход в нормальное состояние.

Также ЭМН имеет преимущество в простоте масштабирования за счет объединения нескольких однотипных накопителей в кластер, а также с успехом может быть использован в сфере общественного транспорта для компенсации негативных эффектов, связанных с частыми разгонами и остановками.

Исходя из вышеизложенного, диссертационная работа, посвященная разработке и исследованию электромеханических накопителей энергии с магнитным ВТСП подвесом, является актуальной и позволит развить существующие подходы к разработке и созданию подобных устройств.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 115 наименований. Объем диссертации составляет 213 страниц.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и отражена практическая ценность исследований; приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор современных российских и зарубежных разработок в области создания ЭМН, сделан вывод о необходимости применения бесконтактных магнитных подшипников для повышения КПД и эффективности хранения энергии.

Во второй главе представлены примеры конкретных реализованных проектов ЭМН. Отмечается, что самыми энергоэффективными являются ЭМН с применением магнитных подшипников. Сделан вывод о том, что ЭМН обладает хорошей масштабируемостью.

В третьей главе описывается выбор конструкций и предлагаются методики расчета основных элементов ЭМН – маховика, подшипников, мотор-генератора, системы безопасности.

В четвертой главе описаны расчеты и представлены результаты экспериментального исследований маломасштабная модель ЭМН с запасенной энергией 0,5 МДж.

Пятая глава посвящена полномасштабному ЭМН с запасенной энергией 5МДж: описание, конструктивные особенности, результаты испытаний.

В Заключение перечислены основные результаты диссертационной работы.

К диссертационной работе есть 3 Приложения: Методика и результаты расчет потерь на трение, Программа испытания ЭМН с запасенной энергией 5 МДж, Акт внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс кафедры 310 МАИ.

**Научная новизна** работы состоит в:

1. Предложенном комплексном подходе к разработке ЭМН с ВТСП магнитным подвесом.
2. Разработке ВТСП магнитного подвеса и магнитной опоры для ЭМН.
3. Разработке методики расчета синхронной электрической машины без ферромагнитопровода.
4. Разработке многослойного маховика с бандажированием из углеволоконного материала.

Практическая значимость:

- Разработан единственный в России ЭМН с магнитным ВТСП подвесом с запасаемой энергией 5 МДж
- Разработана технология создания бесконтактных подшипников на основе ПМ и ВТСП с охлаждением жидким азотом
- Предложены различные технические решения, увеличивающие время хранения энергии.
- Предложена и экспериментально отработана перспективная технология создания многослойного маховика с бандажированием из углеволоконного материала

**Результаты работы** применимы как совокупно, для расчета КНЭ, так и в отдельных сферах: разработка бесконтактных подшипников на основе ВТСП элементов; разработка синхронных машин с немагнитным индуктором и якорем.

**Обоснованность и достоверность** разработанных физических моделей подтверждается согласованием с полученными в работе экспериментальными данными. По материалам диссертационной работы



автором подготовлены статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и Scopus/Web of Science, результаты докладывались на международных и всероссийских конференциях.

**Практическая значимость** работы состоит в возможности использования разработанных методов и моделей при проектировании ВТСП электромеханических накопителей энергии.

Содержание диссертации в достаточной степени отражено в публикациях автора. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Недостатком работы является отсутствие общности и последовательность изложения. Главы 3, 4 и 5 представляются отдельными работами, в которых предлагаются различные методики и подходы, используются разные программные продукты, что осложняет восприятие. В диссертации не выполнен сравнительный анализ использованных конструкций и не сформулирована единая методика проектирования. Отсутствует сравнение аналитических методик с численным моделированием.

По содержанию диссертации имеются следующие **замечания**:

1. В введение указано, что достоинством всех типов накопителей является экологичность (не требуют топлива и при создании не используются вредные для экологии материалы). Однако хорошо известно, что существует проблема с аккумуляторными батареями, связанная с их безопасной для природы утилизацией.
2. Таблица В1 - при сопоставлении с аккумуляторными батареями не сравнивалась удельная энергоёмкость (запасаемая энергия). Хотя именно в этом параметре КНЭ существенно уступает аккумуляторам. В тексте несколько раз отмечается высокая удельная энергоёмкость, которая не присуща КНЭ.
3. Выводы по главе 2 – удельная энергия определяется как  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$

или МДж/кг. В тексте же идет сравнение не по удельной, а фактической запасенной энергии образцов КНЭ.

4. В тексте диссертации отсутствуют рекомендации по выбору формы маховика.
5. В описании методики расчета потерь на трение отсутствует уравнение баланса энергии для ЭМН (3.2), на которую автор ссылается в тексте. Не все переменные, входящие в представленные в разделе уравнения, расшифрованы.
6. В диссертации предлагается методика расчета аэродинамических потерь и даны коэффициенты для воздушной, водородной и гелиевой среды. В чем целесообразность этих расчетов, если для сокращения потерь маховик КНЭ обычно вращается в вакууме?
7. Нет представлена методика расчета ВТСП подшипника в Главе 3.
8. Не представлена схема конструкции мотор-генератора. Не проведена оптимизация магнитной системы ротора. Отсутствует информация о магнитном поле в зазоре или удельной мощности разработанной конструкции, необходимая для оценки потери мощности за счет безжелезной конструкции.
9. В выводах к 3 главе упоминается получение аналитических зависимостей для расчета мотор-генератора, однако в тексте диссертации эти зависимости и методика их получения не представлена.
10. В диссертации не представлен расчет собственных резонансных частот маховика с ВТСП и магнитным подвесом, учитывающим жесткости подшипников. Не представлены измеренные вибрационные характеристики КНЭ.
11. Требуется обоснование утверждения, представленного в диссертации, что ВТСП подвес обеспечивает демпфирование колебаний маховика.

12. В тексте диссертации отсутствует сопоставление расчетных и экспериментальных данных, на основе которого сделан вывод о верификации модели.

Перечисленные недостатки не снижают научную и практическую значимость диссертационной работы Подгузова Владимира Андреевича. Диссертация выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и соответствует требованиям действующего Положения о присуждении ученых степеней ВАК, а автор работы заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Электромеханики,  
электрических и электронных аппаратов»  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»)

Курбатова Екатерина Павловна  
15.05.2024

Подпись кандидата технических наук Курбатовой Е.П. удостоверяю:



111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14,  
стр. 1

Тел. 8(495)362-78-35, e-mail: kurbatovayp@mpei.ru

С отзывами ознакомил

20.05.2024г.