

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.345.05, СОЗДАННОГО  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»

МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 23 мая 2024 г., № 7

О присуждении Кузьмину Ивану Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Электротехнический комплекс специализированного источника на основе проточного аккумулятора» по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите «22» марта 2024 года, протокол №5 диссертационным советом 24.2.345.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, приказ №1119/нк от 23.05.2023 г.

Соискатель, Кузьмин Иван Николаевич, 5 сентября 1981 года рождения, в 1999 году поступил в Краснодарский военный институт имени генерала армии С.М. Штеменко. Завершил обучение в 2004 году в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Военной академии Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого по специальности электроснабжение. В 2023 году окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева». С 2004 по 2021 годы проходил военную службу в Федеральном

казенном учреждении «Войсковая часть 25776» на различных должностях от инженера электротехнического отделения энерго-механического отдела до заместителя командира части – старшего инженера. В 2021 году был назначен на должность главного инженера производственно-технического отдела Девятого управления Министерства обороны Российской Федерации. С марта 2023 года приступил к исполнению обязанностей командира войсковой части 25776.

Диссертация выполнена на кафедре «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – Лоскутов Алексей Борисович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (г. Нижний Новгород).

**Официальные оппоненты:**

1. Панфилов Дмитрий Иванович, доктор технических наук, профессор, научный руководитель АО «НТЦ ФСК ЕЭС». (г.Москва).
2. Землянко Евгений Леонидович, кандидат технических наук - председатель научно-технического комитета Девятого управления Министерства обороны Российской Федерации. (г.Москва).

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», в своем **положительном** заключении, подписанном Д.т.н., доцентом, заведующим научно-образовательной лабораторией «Электроактивные материалы и химические источники тока» Антиповым А.Е., **указала**, что диссертационная работа **Кузьмина Ивана Николаевича** является законченной научно-квалификационной работой, в

которой на основании проведенных автором исследований содержатся новые научно обоснованные технические решения, направленные на реализацию задачи создания накопителей электроэнергии большой мощности, имеющие существенное значение для энергетической отрасли. Работа отвечает специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы», требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Созданная система бесперебойного питания нового поколения на основе проточных аккумуляторных батарей может быть прототипом промышленного производства накопителей большой мощности.

Предложенные конструкции и характеристики компонентов накопителей электрической энергии, которые определяют эффективность и работы систем бесперебойного питания в целом являются теоретическим заделом для проектирования подобных накопителей.

Разработанные модели, схемные решения преобразователей параметров электрической энергии и алгоритмы функционирования систем проточных аккумуляторных батарей позволили интегрировать их в состав систем бесперебойного питания.

Экспериментальные исследования режимов работы, проведённые на физическом стенде доказали работоспособность накопителя, способном удовлетворять реальные нагрузки систем электроснабжения с развитой инфраструктурой.

Основные положения и результаты работы прошли рецензирование и опубликованы в ведущих журналах, а именно: 6 печатных работ, входящих в список ВАК РФ, в наукометрические индексируемые базы РИНЦ, Scopus (WoS), получен патент.

### **Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Кузьмин И.Н., Источник питания для автономных систем электроснабжения на базе проточной аккумуляторной батареи / Воропай А.Н., Лоскутов А.Б., Осетров Е.С. // *Электричество*. 2022. № 10.С 45 – 52 (0,4 п.л./0,3 п.л.)
2. Loskutov, A.; Kurkin, A.; Kuzmin, I.; Lipuzhin, I. Ways to Ensure Parallel Operation of Vanadium Flow Batteries to Create High Power Energy Storage Systems. *Batteries* **2022**, 8, 120. <https://doi.org/10.3390/batteries8090120>
3. Kuzmin I, Vanadium Redox Flow Battery Stacks Balancing to Increase Depth of Discharge Using Forced Flow Attenuation / Rashitov I., Voropay A., Tsepilov G., Loskutov A., Kurkin A., Osetrov E. and Lipuzhin I. // *Batteries* **2023**, 9, 464. <https://doi.org/10.3390/batteries9090464>
4. Кузьмин И.Н., Исследование влияния характеристик и конструкции накопителей электрической энергии на работу систем бесперебойного питания / Белов Д.В., Воропай А.Н., Лоскутов А.Б. // *Электричество*. 2020. № 10. С. 4-11. (0,4 п.л./0,3 п.л.)

### **На диссертацию и автореферат поступило 12 положительных отзывов:**

1. ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». Подписал: д.т.н., профессор кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова Федотов А.И.
2. ФГБОУ ВО «Московский энергетический университет МЭИ». Подписал: к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Промышленная электроника» Асташев М.Г.
3. ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Подписал: к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электрические станции» Ведерников А.С.
4. ФГБУН «Институт энергетических исследований Российской академии наук» (ИНЭИ РАН)». Подписал: д.т.н., главный научный сотрудник, руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ИНЭИ РАН Илюшин П.В.
5. ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС». Подписал: д.т.н., ученый секретарь Научно-технического совета, начальник отдела научно-технической информации Хренников А. Ю.

6. АО «МПОТК «Технокомплект» Подписал: к.ф.-м.н., заместитель генерального директора по науке и инновациям Осетров Е.С.
7. ФГБОУ ВО «Университет Дубна». Подписал: к.х.н., доцент кафедры «Нанотехнологий и новых материалов» Воропай А.Н.
8. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет». Подписал: к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Прикладная механика, физика и высшая математика» Филатов Д.А.
9. ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет». Подписал: д.т.н., профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» профессор Корнилов Г.П.
10. АБС Электро Московский филиал АО «ВНИИР» Подписал: к.т.н., начальник группы РЗА Департамента проектирования Журавлев Д.М.
11. Политехнический институт Сибирского федерального университета. Подписал: д.т.н., заведующий кафедрой «Электроэнергетики» профессор Пантелеев В.И.
12. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет» Подписал: к.т.н., доцент, доцент кафедры «Электрооборудования» Позднеев Н.Д.

Все отзывы **положительные**, в них отмечается актуальность, новизна исследований и практическая значимость работы, а также то, что Кузьмин И.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

**В качестве критических замечаний** отмечается следующее:

- Динамические свойства предлагаемого накопителя в составе системы бесперебойного питания показаны только на минутных интервалах диаграмм токов и напряжений. Не ясно, какие переходные процессы протекают в сети питающего тока на интервале 20 – 100 мсек.

- Для работы проточного накопителя необходимо постоянно прокачивать электролит через ячейки аккумулятора с помощью насосов. Для электропривода насосов требуется внешний источник энергии. При создании сетевых накопителей энергии на основе проточных накопителей, проблем с внешним питанием нет, необходимая энергия берётся из сети. При отключении от сети приведенная схема не работает из-за отсутствия питания электропривода насосов ИБП.

- Учитывая, что применение проточных аккумуляторных батарей планируется соискателем, совместно с генерирующими объектами на основе ВИЭ в составе систем бесперебойного питания, то следовало бы провести дополнительные испытания, помимо приведенных, с учетом стохастического характера выработки электроэнергии указанными объектами.

- Не до конца раскрыт вопрос масштабирования источника питания на основе проточного аккумулятора.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:**

Панфилов Дмитрий Иванович является признанным экспертом в области преобразовательной техники, силовой электроники и управления. Рассмотрение этих вопросов в работе имеет первостепенное значение. Имеет большое количество публикаций посвященных разработке сложных управляющих систем в электроэнергетике.

Землянко Евгений Леонидович имеет публикации по внедрению нетрадиционных электротехнических изделий военно-технического назначения. Кроме того, является специалистом в области систем жизнеобеспечения объектов военной инфраструктуры.

Ведущая организация «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» является признанным лидером в области электроактивных материалов и химических источников тока.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны:**

- аппаратно-программный комплекс управления проточным накопителем, который представляющий собой систему управления проточной аккумуляторной батареей на основе программного обеспечения *L-CARD E-502* и *LabVIEW*;

- графический интерфейс в среде *CODESYS* с визуализацией состояния элементов управления и параметров текущих режимов, позволяющий производить

мониторинг и управление режимом проточного аккумулятора как в автоматическом, так и в ручном режимах;

- расчетные зависимости, которые являются закономерностями для проточных накопителей и могут использоваться в системах управления, а также в расчетных методиках создания гибридных систем.

**предложены** и запатентованы элементы конструкции, исследовано влияние характеристик и компонентов накопителей электрической энергии на их эффективность и работу систем бесперебойного питания в целом. Полученные характеристики легли в основу гидросистемы и управляющей системы ПАКБ;

- метод получения электролита на основе пентаоксида ванадия в серной кислоте, эквивалентного по составу зарубежному электролиту «Vanadium Electrolyte Solution 1.6 M». Полученный электролит показал работоспособность в разработанном проточном аккумуляторе.

**проведены** экспериментальные исследования режимов работы ПАКБ, которые выявили все факторы, влияющие на работу батарей в составе специализированных источников в системах бесперебойного электроснабжения.

**доказана** эффективность и достоверность разработанных способов на специально разработанном испытательном стенде.

**Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:**

**Доказана** возможность использования модульной конструкции проточных аккумуляторов для получения накопителей электроэнергии большой мощности и большой емкости.

**применительно к проблематике диссертации эффективно использована** среда *CODESYS* и программное обеспечение *L-CARD E-502* и *LabVIEW*

**изложены:**

- особенности построения математического моделирования различных конструкций ячеек проточных аккумуляторов;

- технические решения, основанные на теории электрических цепей и систем управления аппаратно-программным электротехническим комплексом;

- методика испытаний основана на применении управляемых устройств нагрузки.

**раскрыты:**

- особенности применения и управления проточными аккумуляторами в составе электротехнического комплекса питания инфраструктурных объектов;

- принципы управления режимами работы оборудования в составе электротехнического комплекса.

**изучены** факторы, влияющие на процессы при работе проточного аккумулятора.

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

**определены** схемотехнические решения электротехнических комплексов специализированного источника питания на основе проточного аккумулятора.

**разработаны** способы автоматического регулирования группы DC-DC преобразователей для питания нагрузки.

**создан** испытательный стенд моделирования режимов работы нагрузки позволяющий производить проверку разработанных алгоритмов функционирования проточных аккумуляторов.

**представлены** материалы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, коды управляющих программ для электротехнического комплекса специализированного источника питания.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ:** на экспериментальном стенде имитировались различные режимы работы как отдельных элементов проточного аккумулятора, так и электротехнического комплекса в целом.

**теория** построена на известных и проверяемых теоретических и экспериментальных данных и согласуется с ними.

**идея базируется** на использовании и обобщении передового опыта российских и зарубежных ученых в области исследования и разработки способов накопления электроэнергии.

**использовано** сравнение характеристик накопителей электроэнергии, анализ достоинств и недостатков каждого при удовлетворении условий эксплуатации специальных электроприемников критической инфраструктуры.

**установлено** соответствие результатов, полученных автором, результатам, представленным в научных публикациях других отечественных и зарубежных ученых.

**использованы** современные методы обработки исходной информации и результатов, полученных в ходе моделирования электротехнических комплексов специализированных источников, а также реальных осциллограмм испытаний.

**проведены** испытания разработанных способов автоматического управления показали высокую эффективность применения разработанных алгоритмов.

**Личный вклад соискателя состоит** в анализе существующих публикаций по теме исследования, постановке и формализации задач, разработке теоретических и методических положений, разработке конструкций ячейки проточного аккумулятора, конструкции электротехнического комплекса, способов управления режимами работы, основанных на разработанных алгоритмах и написанных кодах управляющих программ.

**В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:**

- следовало более четко обосновать реализуемость на практике результатов исследования;

- следует рассмотреть динамические переходные процессы токов и напряжений в интервале 10 – 100 мкс.

- вывод о целесообразности использования проточных аккумуляторов в составе систем бесперебойного питания носит ограниченный характер, т.к. плотность энергии в проточных аккумуляторах низкая.

Процессы саморазряда проточных аккумуляторов в процессе изменения режимов работы при эксплуатации в циклическом режиме нуждаются в дополнительном исследовании;

- отсутствуют четкие рекомендации по выбору ограничительных уставок алгоритма функционирования проточных аккумуляторов.

Соискатель Кузьмин И.Н. согласился с высказанными замечаниями, и заверил, что все замечания и пожелания будут учтены в дальнейшей научно-исследовательской работе.

На заседании 23 мая 2024 года диссертационный совет принял решение – за новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития страны, а именно, создание новых конструкций проточных накопителей, систем управления функционирования электротехнического комплекса систем бесперебойного питания, присудить Кузьмину Ивану Николаевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве - 12 человек, из них 11 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 12 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – нет, недействительных бюллетеней - нет.

23 мая 2024 г.

Председатель  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор



Титов Владимир Георгиевич

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н.

Титов Дмитрий Юрьевич