

УТВЕРЖДАЮ

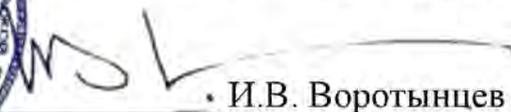
И.о. ректора

Российского химико-технологического

университета имени Д.И. Менделеева,

доктор технических наук, профессор





И.В. Воротынцев

«05» апреля 2024 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»  
на диссертационную работу **Кузьмина Ивана Николаевича**  
**«ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**  
**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ**  
**ПРОТОЧНОГО АККУМУЛЯТОРА»**

по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

### **1. Актуальность темы исследования**

Повышение качества энергоснабжения ответственных объектов инфраструктуры (объекты военного назначения, медицинские учреждения, дата центры и др.) с применением накопителей электрической энергии является важной задачей для современного общества, особенно во время растущего спроса на возобновляемую энергетику. Ввиду того, что генерация от возобновляемых источников энергии непредсказуема и не может контролироваться, аккумулярование энергии и выдача ее в пиковые часы является рациональным выходом. С этой целью необходима разработка систем бесперебойного питания, которые способны поддерживать

энергоснабжение объекта на протяжении длительного времени и работать в качестве буфера в периоды избыточной генерации.

В настоящее время системы накопления электрической энергии (СНЭ) (к которым также относятся системы бесперебойного питания на основе проточных аккумуляторных батарей) находят широкое применение в различных отраслях экономики. За рубежом активно внедряются системы бесперебойного питания на основе проточных аккумуляторных батарей и уже на практике доказали снижение капитальных и операционных затрат при их внедрении по сравнению с другими аналогами.

Следует отметить, что практического опыта разработки и исследований в области поточных накопителей электроэнергии недостаточно. Возможно, представленная работа даст возможности для создания промышленного образца гибридного источника и накопителя, в которых нуждаются критические инфраструктуры систем электроснабжения. Практика эксплуатации особо ответственных систем показывает, что уровень бесперебойности предъявляет возрастающие требования, а мощность критических потребителей растет.

## **2. Структура работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 80 наименований, 4 приложений. Содержание работы изложено на 146 страницах, включая 6 таблиц и 43 иллюстрации.

**Во введении** обоснована актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы цель и задачи исследования.

**В первой главе** рассматриваются вопросы построения и функционирования систем бесперебойного питания нового поколения на основе проточных аккумуляторных батарей. Производится сравнение эффективности использования различных накопителей. Благодаря проведенному сравнительному анализу сделан вывод о целесообразности

использования ПАКБ в сочетании с ВИЭ и другими альтернативными источниками энергии для накопления больших объемов электроэнергии.

**Вторая глава** посвящена разработке исследованию влияния характеристик и конструкции накопителей электрической энергии на эффективность работы. С целью исследования процессов в протонообменной ячейке проводилось математическое моделирование различных конструкций и режимов. Математическое моделирование проводилось в среде COMSOL Multiphysics. Целью данного исследования является сравнение 2-х различных конструкций ячейки проточного аккумулятора.

Другой важной задачей является приготовление электролита. Предложена методика получения электролита и конструкция реактора на основе пентаоксида ванадия в серной кислоте, эквивалентного по составу зарубежному электролиту «Vanadium Electrolyte Solution 1.6 M», производимому компанией GfE Gesellschaft für Elektrometallurgie mbH (Германия).

Разработан алгоритм определения мощности ячейки проточного аккумулятора в зависимости от скорости течения электролита и на основании результатов мощности ячейки проведено сравнение 2-х конструкций ячейки проточного аккумулятора.

В **третьей главе** представлено моделирование разработки схем преобразователей параметров электрической энергии для гибридных специализированных источников, рассмотрен модульный принцип построения проточных накопителей энергии. Технологической основой для использования проточных аккумуляторов в составе системы бесперебойного питания стала система СБП «ДУБНА», которая выпускается серийно.

В **четвертой главе** рассматривается математическое описание и алгоритмы управления систем электроснабжения со специализированными источниками питания, представлены экспериментальные исследования режимов работы специализированных источников в системах электроснабжения критической инфраструктуры. Экспериментальные

исследования нагрузочных характеристик проводились на разработанном стенде проточного аккумулятора, зарядного устройства, системы управления стендом с системой управления нагрузочными элементами.

В заключении приведены основные выводы, полученные в диссертационной работе.

В приложениях представлены материалы с более подробным описанием отдельных аспектов работы, более детально раскрывается структура алгоритмов управления проточным аккумулятором, приведена методика приемочных испытаний, акты внедрений и отчет о проверке на антиплагиат.

### **3. Обоснованность и новизна основных положений диссертации**

Цель и задачи диссертационного исследования понятно сформулированы, структура работы обладает целостностью, логичной последовательностью, непротиворечивостью и завершенностью.

Полученные научные результаты корректно сформулированы и в достаточной степени аргументированы результатами экспериментов, а также согласуются с другими исследованиями по смежным темам.

Диссертационная работа выполнена на требуемом научном и методическом уровне, научные положения, выводы и рекомендации, основываются на комплексе теоретических и экспериментальных достижений в области исследований и разработок проточных аккумуляторов, в области преобразователей электрической энергии, функционально связанных с электрохимическими процессами.

Работа содержит анализ достаточного количества литературных источников по теме исследования.

Основные положения и результаты работы прошли рецензирование и опубликованы в ведущих журналах. По материалам диссертации опубликованы шесть печатных работ в изданиях, входящих в Перечень ВАК и наукометрические цитатно-аналитические базы данных РИНЦ, Scopus (Web of Science), получены два патента.

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались: на заседаниях кафедры электроэнергетики и силовой электроники Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, на заседаниях технического совета производственного объединения «ТЕХНОКОМПЛЕКТ» (ЗАО «МПОТК»).

#### **4. Ценность для науки и практики проведенной соискателем работы**

В результате работы предложен уникальный программно-аппаратный комплекс дистанционного мониторинга и управления буферным накопителем электрической энергии на основе VRFB аккумулятора, работающего параллельно с централизованной электрической сетью, с использованием алгоритмов для автоматизации его работы, в зависимости от генерации энергии, нагрузки потребителя и технического состояния, в целях повышения КПД системы накопления энергии.

В результате исследований впервые создан и исследован экспериментальный образец буферного накопителя электрической энергии на основе проточного аккумулятора мощностью 5 кВт с системой управления, которая способна комплексно получать и анализировать информацию о нагрузке и выработке электрической энергии, самостоятельно принимать решения о необходимости накопления и выдачи электрической энергии, выступать в качестве автоматической балансировки и самодиагностики текущего и прогнозируемого технического состояния накопителя электрической энергии.

#### **5. Вопросы и замечания к работе**

1. Наиболее уязвимым местом в проточном аккумуляторе является протонная мембрана, которая во многом определяет свойства и характеристики накопителя. В работе этому обстоятельству не уделено достаточного внимания, а технические решения, позволяющие достичь заявленных характеристик в ПРБ, прослеживаются только косвенно.

2. Динамические свойства предлагаемого накопителя в составе системы бесперебойного питания показаны только на минутных интервалах диаграмм токов и напряжений. Не вполне ясно, какие переходные процессы протекают в сети переменного тока за меньшие интервалы, например, за 20 – 100 мсек.
3. Предложенная модульная структура включения и управления проточных аккумуляторов предполагает к каждому накопителю зарядный и разрядный преобразователь. Практика подобных устройств показывает эффективность групповых устройств. Возможен ли подобный подход с ванадиевыми накопителями?
4. Ванадиевые электролиты являются достаточно агрессивными средами. В работе не представлено, какие ограничения по использованию ВПРБ накопителей накладывает это обстоятельство.

## **6. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных, проектных организациях и на предприятиях энергетического комплекса Российской Федерации при разработке промышленной технологии производства проточных аккумуляторов для критичной инфраструктуры. Эти накопители могут обладать наибольшими запасами энергии. Кроме того, преимуществом является отсутствие саморазряда и неограниченный срок хранения энергии. Такими свойствами обладают только проточные аккумуляторы.

Предложенные в работе технологические методы и способы глубоко исследованы и доведены до практического использования. Предложены методы и средства приемочных испытаний проточных аккумуляторов. Комплексность подхода в исследованиях и разработка действующего образца позволяют приступить к разработке промышленной технологии производства накопителей большой мощности в России.

## 7. Заключение

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы, аргументированы, оценены по сравнению с известными (аналогичными) техническими решениями и соответствуют актуальному уровню развития науки и техники. По своему содержанию диссертационная работа отвечает паспорту научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы по направлению исследования «3. Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления».

Основные положения диссертации достаточно широко опубликованы в научно-технических изданиях. Автореферат и публикации автора отражают основное содержание работы. Приведённые замечания и вопросы не снижают научной и практической ценности диссертации.

По актуальности, объёму, уровню выполнения и научной новизне полученных результатов диссертационная работа «Электротехнический комплекс специализированного источника питания на основе проточного аккумулятора» 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.

Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям пп. 9 – 14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор – **Кузьмин Иван Николаевич** – заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Отзыв на диссертацию Кузьмина Ивана Николаевича на тему: «Электротехнический комплекс специализированного источника питания на основе проточного аккумулятора» составлен заведующим научно-образовательной лабораторией «Электроактивные материалы и химические источники тока» (НОЛ ЭМХИТ) РХТУ им. Д.И. Менделеева А.Е. Антиповым. Диссертация обсуждена, отзыв одобрен и утвержден на расширенном заседании НОЛ ЭМХИТ РХТУ им. Д.И. Менделеева (протокол от 29.03.2024 г. № 01-03).

Председатель заседания,  
заведующий научно-образовательной лабораторией  
«Электроактивные материалы и химические источники тока»  
РХТУ имени Д.И. Менделеева,  
доктор химических наук, доцент

Анатолий Евгеньевич Антипов

Подпись А.Е. Антипова заверяю:  
Ученый секретарь  
РХТУ им. Д.И. Менделеева



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

Почтовый адрес: Миусская пл., 9, Москва, 125047

Официальный сайт: <https://www.muctr.ru>

Телефон: тел.: 8 (499) 978-86-60

Адрес электронной почты: [antipov.a.e@muctr.ru](mailto:antipov.a.e@muctr.ru)