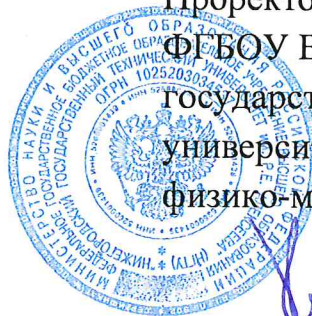


УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Нижегородский
государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева», доктор
физико-математических наук, профессор



_____ А.А. Куркин

« 07 » _____ 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева»

на диссертационную работу Антиповой Лилии Захаровны
«**Неочищенная смесь сульфопроизводных антрахинона как основа
доступных энергоемких неголитов для проточных химических
источников тока**»

по специальности 1.4.6. Электрохимия

1. Актуальность темы исследования

Развитие и оптимизация химических источников энергии, функционирующих по принципу проточных редокс-батарей, представляет собой критическую задачу для устойчивого развития энергетической инфраструктуры, особенно в условиях увеличения в ней доли возобновляемых источников энергии. Использование смеси сульфопроизводных антрахинона в качестве электролитов в проточных батареях может радикально снизить стоимость электролитных материалов и упростить технологический процесс их производства, что делает данное направление особенно актуальным. Существующие коммерческие проточные батареи сталкиваются с ограничениями по плотности энергии и стоимости производства, которые

могут быть преодолены за счет использования новых органических материалов.

Диссертационная работа Антиповой Л.З. направлена на изучение возможностей использования неочищенной смеси сульфопроизводных антрахинона как альтернативного и доступного электролита для проточных химических источников тока в противопоставлении использованию электролитов на основе более дорогостоящих выделенных сульфопроизводных. Результаты исследований показали, что смесь может эффективно функционировать в антрахинон-бромных батареях, обеспечивая высокую скорость окислительно-восстановительных реакций, что является ключевым фактором для увеличения мощности и энергоемкости батарей.

Представленные данные подтверждают, что данная работа может способствовать развитию нового поколения проточных батарей, которые будут отвечать возрастающим требованиям к энергоэффективности и экономической доступности, что критически важно для эффективной интеграции возобновляемых источников энергии в энергетическую систему. Ожидается, что результаты диссертационного исследования обеспечат значительное снижение операционных и капитальных затрат на производство и эксплуатацию проточных редокс-батарей, способствуя их более широкому внедрению в критически важные области промышленности. Таким образом, исследование Антиповой Л.З. вносит значительный фундаментальный и прикладной вклад в развитие технологий хранения энергии, предлагая новые решения для устойчивой и доступной энергетики будущего.

2. Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и трех приложений. Работа изложена на 128 страницах, содержит 44 иллюстрации, 6 таблиц и 86 библиографических наименований.

Во **введении** автор обосновывает актуальность исследования, научную новизну и практическую значимость работы. Здесь же сформулированы цели и задачи исследования, а также представлены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору литературы по проточным редокс-батареям, включая их основные достоинства и недостатки, с акцентом на органические проточные батареи и вещества, подходящие для получения электролитов.

Вторая глава описывает методику синтеза электролита, содержащего смесь сульфопроизводных антрахинона, и методы оценки состава электролитов.

Третья глава посвящена изучению характеристик синтезированного электролита и его электрохимическому поведению в сравнении с контрольными электролитами.

Четвертая глава рассматривает поведение электролита на основе смеси сульфопроизводных антрахинона в экспериментальных условиях лабораторного образца проточной батареи и оценку возможности перехода от бром-содержащего к броматному католиту.

Пятая глава посвящена первичной оптимизации состава синтезированного органического электролита за счет введения полимерной добавки.

В **заключении** представлены основные выводы, полученные в диссертационной работе.

В **приложениях** приведены дополнительные материалы, подробнее описывающие отдельные аспекты работы, включая детальное описание параметров синтезов, результатов ЯМР-спектроскопии и экспертное заключение об успешном завершении независимых лабораторных испытаний батареи.

3. Обоснованность и новизна основных положений диссертации

Цель и задачи диссертационного исследования Антиповой Лилии Захаровны чётко сформулированы, и работа обладает целостной структурой с логичной последовательностью и завершенностью. Исследование направлено на решение актуальной проблемы в области химических источников энергии, что подчеркивает его научную и практическую значимость.

Научные результаты теоретически обоснованы и достоверно аргументированы экспериментальными данными, обеспечивая новизну и

обоснованность представленных выводов. В диссертации наглядно демонстрируется, как синтезированный электролит на основе смеси сульфопроизводных антрахинонов может использоваться в качестве неолита в антрахинон-бромных проточных батареях, улучшая их эксплуатационные характеристики и снижая стоимость.

Работа выполнена на высоком научном уровне, основываясь на комплексном анализе теоретических и экспериментальных данных по направлению исследования органических электролитов для проточных батарей. Основные положения работы подтверждены широким спектром исследовательских методов, включая электрохимические испытания, спектроскопию и химический анализ.

Материалы диссертации были опубликованы в реферируемых научных журналах и представлены на международных научных конференциях, что подтверждает признание и интерес к результатам исследования в научном сообществе. По материалам диссертации опубликованы семь печатных работ в изданиях, входящих в Перечень ВАК и наукометрические цитатно-аналитические базы данных РИНЦ, Scopus (Web of Science).

4. Фундаментальная и практическая значимость работы

Фундаментальная значимость диссертационной работы Антиповой Л.З. заключается в том, что она расширяет набор доступных электролитов для проточных редокс-батарей, предлагая перспективные органические электролиты на основе смеси сульфопроизводных антрахинонов. Таким образом, исследование вносит вклад в развитие электрохимии органических редокс-батарей и, предлагает новые подходы к синтезу и использованию электролитов, что улучшает эксплуатационные характеристики и экономическую эффективность батарей.

Практическая значимость работы обусловлена разработкой методов для снижения стоимости и повышения эффективности производства и эксплуатации проточных редокс-батарей. Применение неочищенной смеси сульфопроизводных антрахинонов в качестве неолита позволяет упростить и удешевить процесс производства электролитов, снижая зависимость от дорогих чистых реагентов и сложных технологических процессов очистки.

Это делает проточные батареи более доступными и перспективными для широкого внедрения в областях применения, где критичны стоимость и надежность энергоснабжения.

Результаты работы Антиповой Л.З. имеют важное значение для развития устойчивых и эффективных систем хранения энергии, что особенно актуально для интеграции возобновляемых источников энергии в энергетическую инфраструктуру. Исследование также способствует оптимизации производственных процессов и созданию новых типов проточных батарей, что может значительно повлиять на энергетическую отрасль в целом.

5. Вопросы и замечания к работе

1. В диссертации подробно описаны методы синтеза и характеристики смесей сульфопроизводных антрахинонов, однако не в полной мере представлены данные о воспроизводимости экспериментальных результатов. Для подтверждения надежности и универсальности полученных данных желательно представить в работе в явном виде насколько полученные в результате синтеза материалы можно воспроизводимо получить.
2. В работе представлено сравнение нового типа электролитов с традиционными ванадиевыми системами, однако недостаточно внимания уделено детальному сравнению с другими органическими проточными батареями, доступными на рынке. Такой анализ мог бы лучше подчеркнуть преимущества и потенциальные недостатки предложенного решения.
3. В работе упоминается высокая циклическая стабильность смеси сульфопроизводных антрахинонов, но не представлено подробное исследование стабильности электролита при длительной эксплуатации при различных температурах, что кажется особенно важным для практического применения батарей, например, в различных климатических условиях.

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.

Результаты диссертационной работы Антиповой Лилии Захаровны могут быть эффективно использованы в прикладных исследованиях, проводимых в научных и образовательных организациях, а также на предприятиях энергетического комплекса для разработки и оптимизации проточных редокс-батарей, использующих органические электролиты. Предложенные условия синтеза электролитов на основе сульфопроизводных антрахинонов позволяют снизить затраты и повысить эффективность производства, что делает их особенно актуальными для использования в системах электроснабжения критически важных объектов и достижения технологического суверенитета в сквозных сферах транспорта, морских и других систем, новых материалах и химии, в полном соответствии с скорректированной стратегией научно-технологического развития России, освещенной в недавнем обращении Президента Российской Федерации Федеральному собранию от 29 февраля 2024 года. Разработка стандартов и методик испытаний на основе полученных результатов может способствовать улучшению качества и надежности новых проточных батарей с органическим

неголитом, ускоряя их внедрение на рынок и подготовку квалифицированных специалистов в области современных электрохимических технологий.

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 1.4.6. Электрохимия в части п. 10 паспорта специальности – «10. Электрохимическая генерация, передача и хранение энергии; оптимизация электролитов, электродных материалов, сепараторов и мембран. Теория, исследование и моделирование химических источников тока (первичных элементов, аккумуляторов, топливных элементов, суперконденсаторов, проточных редокс-батарей). Устройства для преобразования и временного запасаания электрической энергии».

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 «Неочищенная смесь сульфопроизводных антрахинона как основа доступных энергоёмких неголитов для проточных химических источников тока» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных автором исследований были успешно доказаны возможности применения синтезированной смеси сульфопроизводных антрахинонов в качестве эффективного и экономичного электролита для проточных редокс-батарей. Работа способствует развитию теоретических основ электрохимии органических веществ и открывает новые пути для снижения стоимости и улучшения экологических характеристик химически источников тока, использующих их в качестве неголитов.

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 – **Антипова Лилия Захаровна** – заслуживает присуждения ей искомой ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.4.6. Электрохимия.

Отзыв на диссертацию **Антиповой Лилии Захаровны** на тему: «Неочищенная смесь сульфопроизводных антрахинона как основа доступных энергоёмких неголитов для проточных химических источников тока» составлен заведующим кафедрой «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» НГТУ им. Р.Е. Алексеева **А.А. Севостьяновым**. Диссертация обсуждена, отзыв одобрен и утвержден на расширенном заседании кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» НГТУ им. Р.Е. Алексеева (протокол от 24.04.2024 г. № 6).

Председатель заседания, заведующий кафедрой
«Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника»
НГТУ им. Р.Е. Алексеева, кандидат технических наук, доцент

Севостьянов Александр Александрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Почтовый адрес: Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, 603155

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

Телефон: тел.: +7 (831) 436-63-07

Адрес электронной почты: ee@nntu.ru

*Ученый секретарь
Ученого совета НГТУ*



Ц.Н. Мерзляков