

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Р.Р. Галимзянова «Разработка электролитов для двойнослойных суперконденсаторов с расширенной нижней границей температурного интервала эксплуатации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9 – «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии», состоявшейся в НИТУ МИСИС 17.06.2024.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 15.04.2024, протокол № 19.

Диссертация выполнена на кафедре физической химии НИТУ МИСИС.

Научный руководитель – Стаханова Светлана Владленовна, к.х.н., заведующая кафедрой аналитической химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»; в период подготовки диссертации – доцент кафедры общей химии НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 19 от 15.04.2024) в составе:

1. Ракоч Александр Григорьевич – д.х.н., профессор кафедры металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов НИТУ МИСИС - председатель комиссии;

2. Кожитов Лев Васильевич – д.т.н., профессор кафедры «Технологии материалов электроники» НИТУ МИСИС;

3. Сафонова Любовь Петровна – главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела «Развитие подходов и методов физической химии в исследовании многокомпонентных супрамолекулярных и ион-молекулярных систем как перспективных материалов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения науки «институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук», д.х.н., профессор;

4. Кузнецов Виталий Владимирович – д.х.н., профессор кафедры общей и неорганической химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»;

5. Слепцов Владимир Владимирович – заслуженный работник высшего образования, лауреат премии Правительства РФ, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии», федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1) разработаны электролиты на основе двухкомпонентной системы соразтворителей ацетонитрил-этилацетат и ионогена тетрафторбората метилтриэтиламмония, которые позволили существенно расширить границы температурного диапазона эксплуатации суперконденсатора (СК) с сохранением высоких емкостных характеристик и ресурсной стабильности в интервале температур от  $-65$  до  $+60$   $^{\circ}\text{C}$ ;

2) определен оптимальный количественный состав электролита с двухкомпонентной системой соразтворителей и показано, что наилучшие емкостные и эксплуатационные характеристики демонстрирует электролит состава ацетонитрил (70 %) – этилацетат (30 %) с концентрацией соли тетрафторборат метилтриэтиламмония 1,2 моль/л;

3) предложены соразтворители, введение которых в состав электролита на основе этилацетата и ацетонитрила расширяет нижнюю границу температурного диапазона эксплуатации ячеек СК;

4) определен оптимальный количественный состав электролита с трехкомпонентной системой соразтворителей и показано, что наилучшие емкостные и эксплуатационные характеристики демонстрирует электролит состава ацетонитрил (68 %) – этилацетат (29 %) – винилкарбонат (3 %) с концентрацией соли тетрафторборат метилтриэтиламмония 1,2 моль/л.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в работе предложена методология выбора компонентов органических электролитов для суперконденсаторов на основе двух- и трехкомпонентных систем соразтворителей, работающих в широком температурном интервале. Соразтворители электролита рекомендовано выбирать из числа полярных апротонных растворителей с высокой электрохимической стабильностью, имеющих широкий температурный интервал существования жидкой фазы и минимально возможную вязкость. В качестве добавки, улучшающей работоспособность электролита при низких температурах, предложено использовать высокополярный компонент в

количестве 3 %. Эффективность такого подхода продемонстрирована на примере добавки винилкарбоната в количестве 3 %. Ионогены для низкотемпературного электролита предложено выбирать из числа тетрафторборатов тетраалкиламмония, обладающих высокой растворимостью в выбранной системе сорастворителей во всем интервале температур и обеспечивающих максимальную электропроводность при минимальном размере ионов.

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

- 1) предложен состав электролитов: ацетонитрил (70 %) – этилацетат (30 %); ацетонитрил (68 %) – этилацетат (29 %) – винилкарбонат (3 %), содержащих 1,2 моль/л тетрафторбората метилтриэтиламмония, обеспечивающего устойчивую работу суперконденсаторов в диапазоне температур от –65 и –68 соответственно до +60 °С, что превосходит известные аналоги по ширине температурного интервала работоспособности;
- 2) технические решения по разработке и оптимизации состава электролита, а также процесса его получения защищены патентом РФ №2782246 «Электролит для двухслойного электрохимического конденсатора и способ его приготовления»;
- 3) электролиты прошли успешные всесторонние испытания в составе полноразмерных элементов суперконденсаторов, а электролит состава ацетонитрил (70 %) – этилацетат (30 %) с концентрацией соли тетрафторборат метилтриэтиламмония 1,2 моль/л внедрен в производство ООО «ТЭЭМП».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- 1) экспериментальные результаты получены на современном сертифицированном оборудовании с использованием аттестованных методик исследований, показана воспроизводимость результатов, проведена их статистическая обработка;
- 2) идеи исследования базируются на анализе и обобщении передового опыта российских и зарубежных авторов, работающих в области электрохимии;
- 3) проведены сравнения авторских результатов с данными, полученными ранее по рассматриваемой тематике и представленными в литературных источниках, установлено их качественное совпадение.

Личный вклад соискателя состоит в анализе научно-технической информации по теме исследования, сборе и обработке экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов исследований. Обсуждение и интерпретация полученных результатов проводились совместно с научным руководителем и соавторами публикаций. Основные

положения, научная новизна, практическая значимость и выводы диссертационной работы сформулированы совместно с научным руководителем.

По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работы в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, из которых 3 - в базах Web of Science/Scopus, и 1 - патент.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Галимзянова Р.Р. соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней на основании выполненных автором исследований разработаны электролиты на основе двух- и трехкомпонентных систем соразтворителей и тетрафторбората метилтриэтиламмония, использование которых в суперконденсаторах позволяет не только сохранить стабильность емкостных характеристик при температурах от  $-65$  и  $-68$  °C соответственно до  $+60$  °C, но и обеспечить импульсы тока высокой мощности, достаточной для «холодного» запуска двигателей при  $-65$  °C; изучены электрохимические характеристики ячеек СК с разработанными электролитами; изучены эксплуатационные свойства разработанных электролитов в составе промышленно выпускаемых полноразмерных элементов СК.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Галимзянову Руслану Равильевичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9 – «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 4, против нет, недействительных бюллетеней нет

Председатель Экспертной комиссии



Ракоч А.Г.

17.06.2024