

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Большина Даниила Сергеевича
на тему: "Электрокинетические явления в потоке электролита на поверхности гидрогеля как основа источника электроэнергии для имплантируемых устройств"
по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния

Одной из важной научно-технической проблемой современной медицины выступает создание долговременного источника питания имплантируемых устройств. Диссертационная работа Большина Д.С. посвящена поиску подхода к решению этой **актуальной** проблемы и заключается в разработке концепта источника долговременного электропитания. В работе подчеркивается, что универсальный и безопасный постоянный источник электроэнергии для имплантируемых устройств в настоящее время отсутствует, и представленное исследование является попыткой спроектировать такой источник, как альтернатива применяемым одноразовым литий-йодным батареям.

Предметом исследования в данной работе является обратный электроосмосу эффект – потенциал потока (потенциал течения). Его суть заключается в возникновении электростатического поля, направленного вдоль канала с заряженными стенками, по которому протекает электролит. Автор предлагает использовать потоки физиологических жидкостей в качестве электролита, а проводящие гидрогели в качестве источника заряженной поверхности, имитирующей биологические ткани, для генерации электроэнергии.

Отдельно следует подчеркнуть общую проработанность идеи электрокинетического генератора, предложенной Большиным Д.С. С одной стороны, он подробно излагает ограничения, обеспечивающие безопасное внедрение данной технологии в организм. С другой стороны, из текста диссертации видно, что у автора сложилось достаточно полное понимание дальнейших шагов по повышению мощности представленного прототипа генератора и развития направления в принципе.

Наиболее **значимыми** и **оригинальными** результатами являются продемонстрированная работа прототипа электрокинетического генератора и модифицированные эффекты потенциала потока. Во-первых, показан нестационарный потенциал потока при постоянной скорости электролита. Во-вторых, представлена схема с увеличенной выходной мощностью, в которой роль одного из электродов выполняет само рабочее тело - гидрогель. Помимо этого, к значимым **результатам** работы относятся описанное свойство гидрогеля запасать электроэнергию за счет установления градиента концентрации носителей заряда, показанные особенности взаимодействия ксантана и цепей ПЭДОТ, а также проверенные на практике подходы к анализу степени окисления проводящего полимера и вычислению эквивалентных электрических схем.

Достоверность и **обоснованность** представленных результатов обеспечивается комплексом современных подходов к исследованию. Результаты, полученные разными методами, дополняют друг друга. Работа прошла дополнительную верификацию: результаты исследования были опубликованы в виде трех статей в изданиях, индексируемых Web of Science, Scopus и RSCI, одной публикации в "Ученых записках физического факультета" и одной главы в коллективной монографии.

Содержание диссертации состоит из введения, трех глав и приложения в общей сложности на 146 страниц. Как и принято, во **введении** приведены актуальность работы, объект исследования, предмет исследования, цель и задачи работы, положения, выносимые на защиту, научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, обоснованность и достоверность результатов, личный вклад автора, апробация работы, публикации, структура и объем диссертации.

Первая глава посвящена постановке задач исследования. Глава содержит общие сведения об имплантируемых в организм устройствах и источниках их электропитания. В ней обозначена проблема длительности эксплуатации имплантов, предложено и обосновано ее решение в виде

электрокинетического конвертора энергии. Изложена общая теория двойного электрического слоя, потенциала потока и существующих конструкций электрокинетических генераторов. Дано общее описание структуры и свойств гидрогелей, описаны свойства электропроводящих полимеров, обоснован выбор компонент для синтеза.

Вторая глава содержит полное описание процесса экспериментально-теоретических исследований. В главе приведены протоколы синтеза и измерительных экспериментов, приборы и инструментарий, разработанные подходы и реализованные алгоритмы.

В **третьей главе** приведены оригинальные результаты диссертационной работы. Изложены результаты исследования массообмена и устойчивости гидрогеля в разных средах. Показаны особенности структурного взаимодействия проводящего полимера с полимерным каркасом. Дано описание механизма запасания электроэнергии проводящим гидрогелем. Приведены эквивалентные схемы гидрогелей с физической интерпретацией моделей. Продемонстрирована работа прототипа электрокинетического генератора в его обычной и более эффективной альтернативной конфигурации.

К диссертационной работе имеются следующие **замечания**.

1. В работе синтезированы и исследованы 3 вида гидрогелей в сухом и набухом состоянии. Набухание рассмотрено в различных средах. При этом в разделе 3.2.2. «Электронные состояния проводящего полимера в синтезированных гидрогелях» представлены результаты спектроскопии КРС не для всех гидрогелей.
2. В разделе 3.3.4. «Полученные эквивалентные электрические схемы и их интерпретация» представлены модели, которые с достаточно высокой точностью описывают экспериментальные данные. Тем не менее, из результатов трудно однозначно установить основной тип носителей заряда в набухом гидрогеле. Ответ на данный, пока что, открытый вопрос был бы

крайне интересен с точки зрения понимания фундаментальных процессов в полученных гидрогелях.

3. В работе отсутствуют данные о влиянии температуры на электрические характеристики, все эксперименты были выполнены при комнатной температуре. Как отмечает сам автор, моделирование электрокинетических процессов в подобной системе весьма сложная задача и формальное описание эффектов на поверхности гидрогеля априори неизвестно. Поскольку электрофизические процессы на поверхности электродов и в гидрогеле в той или иной степени зависят от температуры, то было бы правильно исследовать эти эффекты экспериментально.

4. К малозначимым замечаниям по отношению к сути работы можно отнести редкие опечатки и употребление некорректных терминов, например, «переносчики заряда» вместо установившегося термина «носители заряда», «полистирен» вместо «полистирол».

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Д. С. Большина является законченной научно-квалификационной работой. Круг решенных в диссертации задач подчеркивает комплексность обозначенной проблемы. Автор продемонстрировал свою квалификацию, выполнив актуальное междисциплинарное и в то же время логически цельное исследование. Положения, выносимые на защиту, и выводы научно обоснованы и обладают как теоретической, так и практической значимостью. Результаты работы прошли достаточную апробацию - опубликованы в виде статей и изложены в виде докладов на очных выступлениях. Текст диссертации хорошо структурирован. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту

специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Считаю, что на основании перечисленных критериев, соискатель, Большин Даниил Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник лаборатории электронных и фотонных процессов в полимерных наноматериалах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук

Тамеев Алексей Раисович

6 декабря 2023 г.

Контактные данные:

тел.: 8495 955 4032; e-mail: tameev@elchem.ac.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 02.00.04 — физическая химия

Адрес места работы:

119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4

ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН), лаборатория электронных и фотонных процессов в полимерных наноматериалах

Тел.: 8 495 955 46 01; e-mail: dir@phyche.ac.ru

Подпись сотрудника ИФХЭ РАН А.Р. Тамеева удостоверяю.

Зам. директора института по научной раб
доктор физико-математических наук
6 декабря 2023 г.

В. Батищев