

О Т З Ы В

Официального оппонента на диссертационную работу Большина Даниила Сергеевича "Электрокинетические явления в потоке электролита на поверхности гидрогеля как основа источника электроэнергии для имплантируемых устройств", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

В диссертации Большина Д.С. затронута актуальная медицинская проблема продолжительности работы медицинских устройств. Как верно было показано в **первой главе**, на данный момент не реализовано достаточно мощного и безопасного постоянного источника энергии для большинства имплантируемых устройств. Автором предложено решение этой проблемы в виде электрокинетического генератора. Концепция основана на использовании потока физиологических жидкостей через канал с заряженными стенками. В роли ЭДС в такой системе выступает физический эффект, называемый «потенциалом потока». Данный эффект, наблюдаемый в работе в условиях, приближенных к физиологическим, является основным объектом диссертационного исследования. Предложенный подход к решению проблемы электроснабжения имплантов в своей реализации обладает достаточной технологической гибкостью, чтобы соответствовать требованиям практической применимости, подробно описанным в **первой главе**.

В качестве материала проточного канала с заряженной поверхностью в работе предлагается использовать гидрогели. **Вторая глава** посвящена подробному описанию синтеза экспериментальных образцов, постановке измерительных экспериментов и сбору экспериментального оборудования. Акцент в экспериментальном изучении делается как на изучение процесса электрогенерации в различных конфигурациях, так и на сам гидрогель и его свойства.

Первая часть **третьей главы** содержит результаты изучения синтезированного проводящего гидрогеля. Полученная информация о структуре и свойствах гидрогелей формируют ряд **положений**, выносимых автором на защиту:

- В нерастворимом, не подверженном коллапсу, биосовместимом проводящем гидрогеле из ПВС, ксанатна и проводящего полимерного комплекса ПЭДОТ ПСС в массовом соотношении 2,5 : 2,5 : 0,78 ксантан выполняет не только структурные функции, но и функции допанта для цепей ПЭДОТ.
- Добавление проводящего полимера к ПВС-ксантановой матрице делает гидрогель пригодным для использования в качестве элемента электродной системы, так как наличие проводящего полимера придает набухшему гидрогелю полупроводниковые свойства: уменьшает контактное сопротивление набухшего гидрогеля с металлическим электродом на 3 порядка и делает возможным объемный перенос заряда посредством дырочной проводимости.
- Добавление проводящего полимера к ПВС-ксантановой придает гидрогелю новое свойство – способность запасать электроэнергию. Данное свойство определяется механизмом возникновения градиента концентрации носителей заряда в объеме набухшего в физиологическом растворе гидрогеля с ПЭДОТ ПСС под действием внешнего электрического поля, предложенный исходя из наблюдаемого формирования неравномерно распределенной степени окисления проводящего полимера, вызванной диффузией подвижных ионов.

Можно сказать, что первая часть **третьей главы** является подготовительной работой перед электрокинетическими экспериментами. Автор ставил перед собой задачу исключить из рассмотрения сторонние эффекты, такие как макроизменения гидрогеля или индуцируемые внешним полем переходные электрофизические процессы. В четвертом подразделе **третьей главы** автор описывает наблюдаемый электрокинетический эффект в потоке электролита через электрокинетическую ячейку с гидрогелевыми стенками. Автор акцентирует внимание на том, что благодаря особенностям проводящего гидрогеля можно воспроизвести аномальный потенциал потока, вызванный релаксационными процессами на поверхности гидрогеля, а также усилить эффективную мощность генерации, используя сам гидрогель в качестве электрода. Далее автор показывает, как продемонстрированный прототип генератора может быть улучшен и доведен до возможности практического использования. Основные результаты электрокинетических исследований сформулированы в следующих **положениях**:

- В потоке электролита по поверхности синтезированного проводящего гидрогеля возникает нетипичный электрокинетический эффект: вместо известной из научной литературы линейной зависимости потенциала потока от скорости электролита, потенциала потока растет со временем при постоянной скорости. Причиной аномального электрокинетического эффекта является постепенное формирование эффективного заряда на поверхности гидрогеля из-за релаксации приповерхностных слоев гидрогеля.
- Использование проводящего полимера в электрокинетической ячейке позволяет использовать в качестве электрода само рабочее тело. Это дает возможность реализовать съем электроэнергии, практически не реализуемый с использованием твердых материалов. Альтернативная конфигурация позволяет повысить эффективность работы ячейки. Средняя мощность которой удалось достичь на прототипе составляет 180 ± 15 нВт.

Результаты работы опубликованы в виде четырех статей, входящих в базу Web of Science и перечень ВАК, главы в коллективной монографии, а также представлены на очных выступлениях на конференциях.

По поводу представленной работы вынужден отметить следующие **замечания**:

1. Как правило, в работах по изучению набухания и релаксации гидрогелей время ожидания равновесного состояния занимает десятки часов, в то время как в диссертационной работе длительность такого рода экспериментов в разделе 3.1. занимает всего несколько часов.
2. В подразделе 3.2.3. показано, что наличие подвижных ионов влияет на конформацию проводящего полимера в набухшем гидрогеле. Из-за разрыва полимерного комплекса цепи ПЭДОТ восстанавливаются и принимают более близкую к клубковой форму, о чем свидетельствует деформация углеродного каркаса. В таком случае, было бы интересно аналогичным образом проследить конформационные изменения проводящего полимера в эксперименте с формированием неоднородной проводимости под действием диффузии подвижных ионов в подразделе 3.3.2.
3. В эксперименте по обнаружению электроемкости гидрогеля, результаты которого представлены в подразделе 3.3.1., установленная длительность периода релаксации системы после снятия внешнего поля установлена составляет 20 минут, однако происхождение этого значения никак не поясняется.

Перечисленные замечания не умаляют ценности проведенного соискателем исследования и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение по работе

Диссертация Большина Д.С. представляет собой законченную научную работу по актуальной научной тематике. Судя по результатам, в диссертационной работе соискатель выполнил поставленные перед собой научные и технические задачи. Благодаря оригинальности разработанных автором методов и полученных результатов (главы 2 и 3 соответственно), не остается сомнений в том, что Большин Д.С. внес существенный теоретический и практический вклад в решение проблемы энергоснабжения медицинских имплантируемых устройств.

Считаю, что диссертационная работа «Электрокинетические явления в потоке электролита на поверхности гидрогеля как основа источника электроэнергии для имплантируемых устройств» соответствует критериям, определенным пп. 2.1. – 2.5. «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова». Содержание автореферата диссертации полностью соответствует содержанию основного текста. Диссертация оформлена согласно приложениям «Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова».

По моему мнению, автор диссертационной работы, Большин Даниил Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния».

Кандидат физико-математических наук,
научный сотрудник ИБХ РАН,
117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 16/10,
лаборатории молекулярной биофизики
тел.:
эл. почта:

Залыгин Антон Владленович



Дата



дпись