

"УТВЕРЖДАЮ"

Зам. директора Института физической химии и  
электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,  
к.ф.-м.н. Злавутичев Р.Х.



2017 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН на диссертацию Небавской Ксении Андреевны «Влияние заряда и степени гидрофильности поверхности ионообменных мембран на электроконвективный перенос ионов и электрохимические характеристики мембран», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.05 "Электрохимия".

Диссертационная работа Небавской К.А. посвящена исследованию механизмов электроконвекции в зависимости от параметров системы, заряда и степени гидрофильности поверхности мембраны. Электроконвекция возникает в результате действия электрической силы на объемный заряд в обедненном растворе у ион-селективной поверхности и является практически единственным способом увеличения полезного массопереноса.

*Актуальность темы* исследования определяется важностью электроконвекции для практики электродиализа и для устройств микрофлюидики. Полученное уравнение для расчета дзета-потенциала, учитывающее шероховатость и объемную проводимость ионообменных мембран, формирующих стенки щелевого канала при измерении дзета-потенциала и заряда поверхности мембран методом потенциала течения, позволяет получать более корректные значения электрических свойств поверхности мембран.

*Научная новизна работы* определяется как используемыми в работе методами исследования, так и совокупностью полученных результатов. Показано, что расчет величин дзета-потенциала и заряда поверхности ионообменных мембран из потенциала течения без учета проводимости мембраны приводит к заниженным значениям этих величин по сравнению с ожидаемыми на основании известной обменной емкости мембраны. Доказано, что величины заряда и степени гидрофильности поверхности мембраны по разному влияют на интенсивность развития электроконвекции при малых и больших скачках потенциала. Заряд

поверхности мембран играет решающую роль в развитии равновесной электроконвекции при малых скачках потенциала. Степень гидрофильности поверхности является доминирующим фактором в развитии неравновесной конвекции в сверхпредельных токовых режимах. Созданная установка для измерения углов смачивания поверхностей, уравновешенных с исследуемым раствором, на которую получен патент, подчеркивает *практическую значимость работы*.

Диссертация состоит из введения, списка использованных сокращений и символов, 4 глав, выводов и списка литературы. Полный объем работы 130 стр., включая 33 рисунка и 15 таблиц. Библиография содержит 181 наименование литературных источников.

Во введении обоснована актуальность и показана научная новизна работы, сформулированы цели исследования, кратко изложено содержание работы.

В первой главе показана важность электроконвекции для практики электродиализа. Описаны современные представления об основных механизмах развития электроконвекции. Рассмотрены классические теории электроосмоса согласно которым электроконвекция должна возрастать с увеличением заряда поверхности. В то же время обычно возрастание заряда ведет к увеличению ее гидрофильности. Приведены работы доказывающие, что с ростом гидрофильности поверхности снижается интенсивность электроконвекции при сверхпредельных плотностях тока.

Во второй главе подробно описаны экспериментальные методики эксперимента и установки, на которых проводились эксперименты. Приведены данные мембран, исходных и модифицированных, используемых в работе. Приведены хронопотенциограммы исследованных образцов анионообменных мембран и сравнение экспериментально полученных хронопотенциограмм с численными расчетами с использованием трехслойной модели.

В третьей главе приводятся результаты измерения смачиваемости ионообменных мембран с целью оценки структуры поверхности мембран. Приведены результаты измерений краевых углов для исходных мембран и мембран с модифицированной поверхностью. Обнаружено различие кинетических зависимостей углов смачивания на воздушно-сухой и набухшей мембран. Тогда как угол смачивания набухшего образца не зависит от времени угол смачивания на сухом образце вначале превышает угол смачивания набухшего образца, а затем резко снижается и становится меньше угла смачивания набухшего образца. Автор связывает это с разницей поверхностного натяжения сухого материала на границе с обводненным больше, чем поверхностное натяжение полностью обводненного материала. В четвертой главе приводятся экспериментальные результаты измерения электрокинетических и электрохимических характеристик мембран, а также их обсуждение. Для расчета дзета-потенциалов мембран были использованы уравнение

Гельмгольца-Смолуховского и уравнение, основанное на подходе А. Ярошука и В. Рибича, которое впервые получено в этой работе. На основании потенциалов, рассчитанных по этим формулам, были рассчитаны заряды поверхности и сравнены с зарядами, полученными из обменной емкости и со скачком потенциала Доннана. Найденные таким образом значения дзета-потенциала и заряда выше, рассчитанных по формуле Смолуховского и ниже рассчитанных по полученной в работе формуле.

В заключении приведены основные выводы.

Положения диссертационной работы вполне обоснованы, опубликованы в открытой печати в журналах, рекомендованных ВАК для представления результатов диссертационных работ, и прошли апробацию на значительном числе конференций. Достоверность результатов диссертации обеспечивается тщательной разработкой методик экспериментов, а также подтверждается данными независимых источников. Сама же диссертация представляет собой завершенное научное исследование.

Автореферат диссертации полностью соответствует основным положениям работы.

По диссертации сделаны следующие замечания:

1. Объяснение меньшего угла смачивания на воздушно-сухой мембране по сравнению с набухшей выглядит не убедительно. На рисунке 8 автореферата почему то изображена капля сидящая на гидрофобной поверхности в то время как все измерения дают значения краевых углов меньше 90 градусов. Из этого рисунка следует, что  $\gamma_{0s} < \gamma_{0x}$  хотя в тексте утверждается обратное. Возможно, следовало бы использовать не силовой, а энергетический подход аналогичный подходу Фрумкина-Дерягина. Совершенно не обсуждается возможность изменения объема капли и изменения концентрации ионов в капле при ее движении по активной поверхности сухой мембраны и связанные с этими эффектами гистерезис краевого угла и эффект Марангони.
2. При расчетах дзета-потенциала по следовало бы оценить влияние электропроводности мембраны на расчеты. Возможно следовало бы использовать не объемную электропроводность раствора, а эффективную электропроводность, включающую электропроводность раствора и электропроводность самой мембраны.

Эти замечания не влияют на положительную оценку выполненной работы и не ставят под сомнение основные выводы диссертации.

Результаты работы Небавской К.А. представляют существенную научную значимость и могут быть использованы в научной работе широкого круга организаций изучающих механизм электромембранных процессов..



Работа полностью удовлетворяет требованиям пп. 9, 10, 11, 13, 14 «положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Небавская К.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.05 - Электрохимия.

Отзыв на диссертацию составила к.х.н. (02.00.04 Физическая химия), старший научный сотрудник ИФХЭ РАН Сергеева И.П.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании секции ученого совета ИФХЭ РАН «Поверхностные явления в коллоидно-поверхностных системах, физико-химическая механика и адсорбционные процессы» от 18 января 2017 г., протокол № 1.

Председатель секции ИФХЭ РАН  
академик

Бойнович Л.Б.

Официальное наименование (сокращенное): ФАНО РОССИИ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН)

Юридический и почтовый адрес: 119071, Москва, Ленинский проспект, 31

Тел. +7(495) 952-46-01 E-mail: [dir@phych.ac.ru](mailto:dir@phych.ac.ru)

Подпись Бойнович Л.Б. заверяю  
Ученый секретарь ИФХЭ РАН к.х.н.

Варшавская И.Г.

27.02.2017 г.

