

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.320.04,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело N _____
решение диссертационного совета от 20 декабря 2024 г. № 16

О присуждении Горобченко Андрею Дмитриевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Нестационарный перенос анионов ортофосфорной кислоты через анионообменные мембраны при электродиализе» по специальности 1.4.6. Электрохимия (химические науки) принята к защите 15 октября 2024 г., протокол № 10, диссертационным советом 24.2.320.04, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д. 149, приказы о создании № 352/нк от 19.06.2014 г., об установлении полномочий №561/нк от 03.06.2021.

Соискатель Горобченко Андрей Дмитриевич, 12 сентября 1996 года рождения, в 2018 г. окончил бакалавриат ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, в 2020 г. – магистратуру ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность, в 2024 г. – аспирантуру по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника (профиль 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный университет». В дополнение к обязательным дисциплинам аспирантуры сдал кандидатский экзамен по электрохимии. В настоящий момент работает инженером-

исследователем научно-исследовательской части федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертационная работа выполнена на кафедре физической химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор химических наук, профессор Никоненко Виктор Васильевич, профессор кафедры физической химии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет».

Официальные оппоненты:

Козадерова Ольга Анатольевна – доктор химических наук, доцент, профессор кафедры неорганической химии и химической технологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»;

Ганченко Георгий Сергеевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории электро- и гидродинамики микро- и наномасштабов Краснодарского филиала федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук (г. Москва), в своем положительном отзыве, подписанном Баженовым Степаном Дмитриевичем, кандидатом химических наук, заместителем директора ИНХС РАН, заведующим лабораторией «Извлечение и утилизация диоксида углерода», указала, что диссертация Горобченко А.Д. соответствует паспорту научной специальности 1.4.6. Электрохимия, отвечает предъявляемым к кандидатским

диссертациям требованиям, и соответствует пп. 9–11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), а её автор, Горобченко Андрей Дмитриевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата химических наук.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ по теме диссертации, из них 5 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых Scopus и Web of Science, а также 8 тезисов докладов в материалах международных и всероссийских научных конференций. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют. В публикациях соискателя рассмотрены закономерности достижения стационарного состояния электромембранными системами с сильными электролитами [Effect of current-induced coion transfer on the shape of chronopotentiograms of cation-exchange membranes / V.D. Titorova, S.A. Mareev, A.D. Gorobchenko, V.V. Gil, V.V. Nikonenko, K.G. Sabbatovskii, N.D. Pismenskaya // Journal of Membrane Science. 2021. Vol. 624, art. № 119036]; традиционные и современные подходы к описанию переноса ионов в электромембранных системах [Ion and water transport in ion-exchange membranes for power generation systems: guidelines for modeling / S. Mareev, A. Gorobchenko, D. Ivanov, D. Anokhin, V. Nikonenko // International Journal of Molecular Sciences. 2023. Vol. 24. № 1. art. № 34]; результаты вольтамперометрических исследований анионообменных мембран в растворах соли ортофосфорной кислоты и их теоретическое описание нестационарной математической моделью [How do proton-transfer reactions affect current-voltage characteristics of anion-exchange membranes in salt solutions of a polybasic acid? Modeling and experiment / A.D. Gorobchenko, S.A. Mareev, O.A. Rybalkina, K.A. Tsygurina, V.V. Nikonenko, N.D. Pismenskaya // Journal of Membrane Science. 2023. V. 683, art. № 121786]; особенности достижения стационарного состояния электромембранными системами с фосфатсодержащими растворами и результаты хронопотенциометрии анионообменных мембран [Study of non-stationary phosphorus transport with phosphoric acid anions through an anion-exchange membrane by chronopotentiometry: Experiments and modeling /

A. Gorobchenko, O. Yurchenko, S. Mareev, C. Zhang, N. Pismenskaya, V. Nikonenko // Journal of Water Process Engineering. 2024. Vol. 64. art. № 105711]; прикладные аспекты электродиализного извлечения фосфора из многокомпонентных фосфатсодержащих растворов [Determining obstructive or promoting effects of anions and DOM on phosphate transport during nutrient recovery from wastewater by selective electrodialysis / Y. Li, Z.-L. Ye, N. Pismenskaya, X. Pan, Y. Huang, S. Mareev, A. Gorobchenko // Desalination. 2024. Vol. 586. art. № 117786].

Основные результаты диссертационного исследования обсуждены на профильных конференциях международного и всероссийского уровней. Анализ литературных данных, экспериментальная и теоретическая части выполнены соискателем самостоятельно, научная интерпретация результатов исследований проводилась совместно с научным руководителем. Все работы опубликованы в соавторстве, на все статьи по теме работы в тексте диссертации имеются ссылки.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы, все положительные, в ряде из них имеются замечания и вопросы, касающиеся целесообразности оценки числа Релея для электромембранной системы (официальный оппонент канд. физ.-мат. наук Ганченко Г.С.); информации о скоростях протока раствора в трактах электродиализной ячейки (ведущая организация); влияния параметра пористости мембраны в модели на расчетные характеристики исследуемой системы (официальный оппонент д-р. хим. наук Козадерова О.А.); расхождения отдельных участков расчетных и экспериментальных парциальных вольтамперных характеристик (официальный оппонент канд. физ.-мат. наук Ганченко Г.С., д-р. хим. наук Сафронова Е.Ю., д-р. тех. наук Кардаш М.М.); алгоритма оценки подгоночных параметров модели (официальный оппонент д-р. хим. наук Козадерова О.А.); обоснования выбора рН растворов (ведущая организация); природы колебаний скачка потенциала в стационарной области хронопотенциограмм (д-р. хим. наук Васильева В.И.); роли коэффициентов активности при моделировании (официальный оппонент канд. физ.-мат. наук Ганченко Г.С.); оценки доли поверхности мембран с отложениями осадка (д-р. хим. наук Сафронова Е.Ю.); оценки факторов, влияющих на дифференциальное сопротивление мембранной системы (официальный оппонент д-р. хим. наук

Козадерова О.А.); конфигурации мембранного пакета электродиализной ячейки (ведущая организация); экспериментального получения вольтамперной кривой фосфатсодержащей мембранной системы (официальный оппонент канд. физ.-мат. наук Ганченко Г.С.); закономерностей переноса анионов многоосновных кислот и полифосфатных соединений (д-р. хим. наук Золотухина Е.В.); воспроизводимости данных по осадкообразованию (официальный оппонент канд. физ.-мат. наук Ганченко Г.С.); выбора типа анионообменной мембраны (официальный оппонент д-р. хим. наук Козадерова О.А., ведущая организация); отсутствия объяснения формы парциальных вольтамперных кривых (д-р. хим. наук Васильева В.И.) и информации о входных параметрах модели (д-р. физ.-мат. наук Рыжков И.И.); статистической обработки данных (официальные оппоненты д-р. хим. наук Козадерова О.А. и канд. физ.-мат. наук Ганченко Г.С.); оформления иллюстративного материала в автореферате (канд. хим. наук Овчинникова С.Н.); опечаток в работе (официальный оппонент канд. физ.-мат. наук Ганченко Г.С.).

Соискатель ответил на вопросы и замечания по диссертации и автореферату, сделанные ведущей организацией, официальными оппонентами и специалистами в данной области, привел собственную аргументацию в интерпретации полученных результатов, а также согласился с рядом замечаний терминологического, стилистического и оформительского характера.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован их высокой компетентностью в области мембранной электрохимии и наличием профильных публикаций в высокорейтинговых научных изданиях. Ведущая организация удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а также широко известна своими достижениями в области электрохимии, имеет ученых, являющихся специалистами по теме защищаемой диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан комплексный подход к экспериментальному и теоретическому описанию закономерностей нестационарного переноса анионов ортофосфорной кислоты при электродиализе через анионообменные мембраны;

предложено

- при моделировании нестационарного переноса в электромембранных системах учитывать кинетику химических реакций переноса протона с участием анионов и молекул многоосновной кислоты и воды;

- при выборе токовых режимов электродиализа фосфатсодержащих растворов учитывать природу эмпирического предельного тока;

доказаны:

- механизмы осадкообразования труднорастворимых фосфатсодержащих соединений при электродиализе кальций- и фосфатсодержащих растворов в условиях низких плотностей тока.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

установлены:

- закономерности переноса фосфат-анионов через анионообменные мембраны при различных плотностях тока;

- причины возникновения двух предельных токов и отрицательного дифференциального сопротивления при переносе анионов ортофосфорной кислоты через анионообменную мембрану;

- существенные изменения ионного состава анионообменных мембран за счет протекания реакции диссоциации фосфат-анионов;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных модельных подходов и методов экспериментального исследования: вольтамперометрия, хронопотенциометрия, измерение парциальных токов ионов и др., обеспечивших детальное изучение электрохимических характеристик анионообменных мембран в растворах солей ортофосфорной кислоты;

изложены сведения об электрохимических характеристиках анионообменных мембран в растворах солей ортофосфорной кислоты;

раскрыты основные отличия в электрохимическом поведении электромембранных систем с фосфатсодержащими растворами от поведения систем с растворами сильных электролитов;

изучено:

- влияние скорости развертки электрического тока на величины двух предельных токов и дифференциального сопротивления фосфатсодержащих электромембранных систем;

- влияние плотности электрического тока на время установления стационарного состояния в фосфатсодержащих электромембранных системах;

проведена модернизация представлений:

- о закономерностях установления стационарного состояния в системе анионообменная мембрана / раствор соли ортофосфорной кислоты;

- по экспериментальному вольтамперметрическому определению предельной плотности тока в фосфатсодержащих мембранных системах;

- о механизмах генерации протонов и анионов гидроксила при электродиализе фосфатсодержащих растворов.

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

разработана нестационарная математическая модель, позволяющая количественно описывать и интерпретировать экспериментальные данные вольтамперметрии и хронопотенциометрии анионообменных мембран в растворах соли ортофосфорной кислоты; предсказывать природу осадкообразующего соединения и пороговую плотность тока осадкообразования при электродиализе;

определены:

- причины снижения выхода фосфора по току при электродиализе фосфатсодержащих растворов;

- пороговые плотности тока осадкообразования при стационарном электродиализе кальций- и фосфатсодержащих растворов;

создан задел для развития фундаментальных основ повышения электродиализного извлечения фосфора из фосфатсодержащих сточных вод;

представлены:

- расчетные данные по перспективности применения нестационарных режимов электродиализа при переработке фосфатсодержащих сточных вод;

- результаты влияния плотности тока на осадкообразование на поверхности анионообменных мембран при электродиализе кальций- и фосфатсодержащих растворов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с использованием современного сертифицированного и поверенного оборудования, методов статистической обработки, показана воспроизводимость результатов исследования;

теория основана на известных и проверенных модельных подходах к описанию переноса ионов в электромембранных системах;

идея базируется на обобщении передового опыта исследования электродиализа растворов электролитов, содержащих анионы ортофосфорной кислоты или других многоосновных кислот, а также основных направлений в области совершенствования электродиализного извлечения фосфора путем оптимизации режимов процесса и предподготовки фосфатсодержащих растворов;

использовано сравнение авторских данных с литературными, полученными ранее другими исследователями по рассматриваемой тематике;

установлено, что полученные в диссертационном исследовании результаты не противоречат данным, представленным в независимых источниках по данной тематике, и согласуются с результатами, опубликованными в работах других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в проведении анализа литературных источников по теме диссертационного исследования; выполнении большей части экспериментальных исследований по получению приводимых в диссертации электрохимических характеристик анионообменных мембран; разработке нестационарной математической модели, используемой в работе. Постановка целей и задач исследования, интерпретация экспериментальных данных, формулирование выводов проведены совместно с научным руководителем, а также подготовлены совместные научные публикации.

В ходе защиты диссертации высказаны критические замечания о механизмах электромембранного разделения ионов и о перспективах применения электродиализа в конкретных приложениях (д-р хим. наук Буков Н.Н.); причинах появления максимума на хронопотенциограммах и расхождении результатов моделирования и эксперимента (д-р хим. наук Шельдешов Н.В.);

выборе концентрации растворов, ограничениях модели по величине концентрации раствора и опечатке в третьем положении, выносимом на защиту (д-р хим. наук Темердашев З.А.); графическом представлении экспериментальных парциальных вольтамперных кривых (д-р хим. наук Кононенко Н.А.); нестационарном поведении электромембранной системы, влиянии скорости развертки тока на поведение системы с сильным и слабым электролитами, возможности описания переноса сильных электролитов с помощью разработанной математической модели, влиянии коэффициентов активности в уравнении Нернста-Планка и практической реализации нестационарных режимов электродиализа (д-р хим. наук Заболоцкий В.И.).

Соискатель, Горобченко Андрей Дмитриевич, ответил на критические замечания: объяснил закономерности ионного обмена в системах с ионообменными мембранами; рассказал об областях применения электродиализа в практике извлечения и концентрирования фосфора; объяснил возможную причину появления локального максимума на хронопотенциограммах сорбцией коионов анионообменной мембраной; обосновал адекватность разработанной модели и возможные причины отклонения расчетных и экспериментальных данных; обосновал выбор концентрации растворов на основе примеров из практики электродиализа фосфатсодержащих сточных вод; дал пояснения к результатам измерения парциальных токов ионов; представил результаты моделирования поведения фосфатсодержащей электромембранной системы в стационарном состоянии; объяснил причины различного влияния скорости развертки тока на поведение электромембранных систем с растворами сильных и слабых электролитов; пояснил роль коэффициентов активности в уравнении Нернста-Планка; привел примеры возможных путей технической реализации нестационарных режимов электродиализа, а также согласился с рядом замечаний и рекомендаций.

На заседании 20 декабря 2024 г. диссертационный совет принял решение: за выполнение важной научной задачи в электрохимии – исследование закономерностей нестационарного переноса анионов ортофосфорной кислоты через анионообменные мембраны в наложенном электрическом поле для

совершенствования процесса электродиализного извлечения фосфора из фосфатсодержащих растворов, присудить Горобченко Андрею Дмитриевичу ученую степень кандидата химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 8 докторов наук по специальности 1.4.6. Электрохимия, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



В.И. Заболоцкий

Ученый секретарь
диссертационного совета

С.А. Шкирская

20.12.2024