ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 212.204.09, созданного на базе Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени доктора наук.

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от «27» августа 2019 года, протокол № 19

О присуждении Растуновой Ирине Леонидовне, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Детритизация и иммобилизация низкоактивных тритийсодержащих водных отходов» в виде рукописи по специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов, технические науки, принята к защите 23 мая 2019 года, протокол № 13, диссертационным советом Д 212.204.09, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (125047, Москва, Миусская площадь, 9, приказ о создании диссертационного совета от 29 июля 2013 года № 378/нк).

Соискатель Растунова Ирина Леонидовна, 30 декабря 1968 года рождения, в 1998 году окончила Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева Государственного комитета Российской Федерации по высшему образованию.

Освоила программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства образования Российской Федерации в 2001 году.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Изотопный обмен между водой и водородом в контактных устройствах мембранного типа» защитила в 2001 году в диссертационном совете, созданном на базе Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства образования Российской Федерации.

Работает в должности доцента кафедры технологии изотопов и водородной энергетики Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре технологии изотопов и водородной энергетики на их основе Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор химических наук, профессор Розенкевич Михаил Борисович, гражданин Российской Федерации, заведующий кафедрой технологии изотопов и водородной энергетики Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева.

Официальные оппоненты: доктор химических наук, член-корреспондент Российской академии наук, профессор **Калмыков Степан Николаевич,** гражданин Российской Федерации, исполняющий обязанности декана химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва; доктор химических наук, профессор **Стефановский Сергей Владимирович**, гражданин Российской Федерации, заведующий лабораторией радиоэкологических и радиационных проблем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии имени А.Н.Фрумкина Российской академии наук, Москва; доктор технических наук, старший научный сотрудник **Юхимчук Аркадий Аркадьевич**, гражданин Российской Федерации, заместитель начальника научно-исследовательского отделения по НИР

Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», Саров,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное унитарное предприятие «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО», Москва; в своем ***положительном*** заключении, подписанном доктором технических наук, профессором Соболевым Андреем Игоревичем, советником по научно-техническим вопросам и доктором технических наук, доцентом Горбуновой Ольгой Анатольевной, начальником проектно-технологического отдела, указала, что по содержанию диссертация соответствует паспорту специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части формулы специальности «Создание и совершенствование технологических схем, ресурсо-, энергосбережение, охрана окружающей природной среды в технологии редких и радиоактивных элементов» и области исследований «Снижение отходности производств, фиксация отходов в виде малоподвижных, безопасных для окружающей среды соединений», а по актуальности, новизне и практической значимости – требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Растунова Ирина Леонидовна, заслуживает присуждения степени доктора технических наук по специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов (отзыв рассмотрен и одобрен на заседании секции «Обращение с РАО» Научно-технического совета 09 июля 2019 года, протокол № 19).

Соискатель имеет 120 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 93 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 17 работ. Общий объем публикаций 457 страниц. Все работы выполнены в соавторстве, личный вклад соискателя не менее 80%. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Соискателем опубликовано 38 работ в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов, получено 3 патента, издана 1 глава в коллективной монографии. Учебников, учебных пособий и депонированных рукописей не имеет.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1.Rozenkevich M.B., Rastunova I.L. The Ways to Increase Light Water Detritiation Efficiency by Chemical Isotope Exchange between Hydrogen and Water in Membrane Contact Devices // Fusion Science and Technology. 2011. Vol. 60. No. 4. P. 1407–1410. (Web of Science, Scopus).

2. Растунова И.Л., Защелкина Л.И. Оценка возможности использования матриц портландцемента для отверждения низкоактивных тритийсодержащих водных отходов // Огнеупоры и техническая керамика. 2013. № 1–2. С. 3–7. (Chemical Abstracts).

3. Магомедбеков Э.П., Растунова И.Л., Белкин Д.Ю., Сарычев Г.А. Методы изотопной очистки водных технологических потоков на ядерных установках // Химическая промышленность сегодня. 2018. № 3. С. 22–31. (Chemical Abstracts).

На диссертацию и автореферат поступило 15 отзывов, ***все положительные***. В отзывах указывается, что работа характеризуется высоким теоретическим и экспериментальным уровнем, имеет большое научное и практическое значение и по своей новизне и актуальности соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии. В отзыве доктора химических наук, академика Российской академии наук **Мясоедова Николая Федоровича**, заведующего отделом химии физиологически активных веществ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института молекулярной генетики Российской академии наук в качестве замечания отмечено, что следовало указать меры обеспечения безопасности работы установки изотопного обмена водорода с водой. В отзыве доктора химических наук **Устинова Олега Александровича,** главного научного сотрудника Отдела технологий обращения с РАО и кандидата химических наук **Семенова**

Александра Александровича, главного эксперта Научно-исследовательского отделения разработки технологии и оборудования специальных неядерных материалов и изотопной продукции Акционерного общества «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара» отмечено, что в формуле 5 автореферата отсутствует описание физического смысла коэффициента 0,27; не понятна цель использования гидрофобного катализатора в мембранных контактных устройствах; не указана возможность использования пластифицирующих добавок для иммобилизации тритийсодержащей воды. В отзыве доктора технических наук, профессора **Косынкина Валерия Дмитриевича**, главного научного сотрудника лаборатории по редким, редкоземельным и радиоактивным элементам Акционерного общества «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» отмечено отсутствие пояснения использования в качестве параметров суммы диаметров мембран и радиуса сферической молекулы в уравнениях 9 и 11 соответственно, а также причины увеличения коэффициента массопередачи при замене плоских мембран на трубчатые в мембранных контактных устройствах. В отзыве кандидата технических наук **Баранова Сергея Васильевича**, советника руководителя Научно-производственного центра автотранспортного оборудования Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н.Л. Духова» отмечено недостаточно подробное описание технических предложений по использованию результатов работы и экономической оценки предлагаемых технологий детритизации водных отходов. В отзыве **Рудских Вячеслава Васильевича**, руководителя группы технологий материалов ядерно-оружейного комплекса лаборатории новых технологий Центральной заводской лаборатории Федерального государственного унитарного предприятия «Производственное объединение «Маяк» отмечено отсутствие пояснения термина «балансовые значения концентрации» в методике расчета профиля концентраций при ректификации воды и критерия допустимой скорости выделения трития из минеральных матриц. В отзыве доктора физико-математических наук, профессора **Ваниной Елены Александровны**, ученого секретаря Федерального государственного унитарного предприятия «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды» отмечено, что не понятны степень оригинальности методики расчета профиля концентраций при ректификации воды, значимость вклада автора в разработку методики расчета массообменных характеристик изотопного обмена в мембранных контактных устройствах и ее новизна. В отзыве доктора химических наук, старшего научного сотрудника **Милютина Виталия Витальевича**, заведующего лабораторией хроматографии радиоактивных элементов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук, отмечено отсутствие объяснения наличия двух участков на кинетической зависимости выделения трития из минеральных матриц, а также принципа выбора и механизма влияния минеральных добавок на эту характеристику. В отзыве доктора технических наук, профессора **Кулова Николая Николаевича**, главного научного сотрудника лаборатории теоретических основ химической технологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова Российской академии наук отмечено отсутствие экономической оценки предложений по детритизации водных отходов и недостаточно подробное описание схемы технологии обращения с низкоактивными тритийсодержащими водными отходами. В отзыве доктора химических наук, доцента **Сачкова Виктора Ивановича**, заведующего лабораторией химических технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» отмечено, что в работе исследована только одна протонпроводящая мембрана МФ-4СК и не приведено количественное сравнение результатов определения проницаемости мембран по воде с использованием методик на основе испарения и гомомолекулярного изотопного обмена воды. В

отзыве доктора химических наук, доцента **Голубиной Елены Николаевны**, начальника научно-исследовательской части Новомосковского института (филиала) Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева отмечено, что не приведены доказательства первого порядка реакции изотопного обмена при определении проницаемости мембраны и неверные значения степеней в формулах зависимости гидравлического сопротивления насадок. В отзыве доктора технических наук **Софронова Владимира Леонидовича**, профессора кафедры «Химия и технология материалов современной энергетики» Северского технологического института – филиала Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» отмечено, что предложенные методы иммобилизации тритийсодержащих отходов не являются достаточно надежными. В отзыве доктора геолого-минералогических наук **Габлина Василия Александровича**, главного научного сотрудника Автономной некоммерческой организации дополнительного профессионального образования «Институт промышленной безопасности» отмечено отсутствие подтверждения некорректности традиционной методики исследования транспорта воды в мембранах типа Nafion и использование различных единиц измерения концентрации трития. В отзыве доктора технических наук, профессора **Успенской Майи Валерьевны**, профессора факультета прикладной оптики, директора научно-исследовательского центра биоинженерии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» отмечено: отсутствие описания влияния молекулярной массы, дисперсности и степени ионизации мембраны МФ-4СК на ее проницаемость; не понятно, какой тип диффузии учитывался в методике расчета коэффициента массопередачи в мембранных контактных устройствах; отсутствует экономическое сравнение различных методов детритизации водных отходов; слишком лаконичное описание принципиальной схемы технологии обращения с низкоактивными тритийсодержащими водными отходами. В отзыве доктора технических наук **Иванова Константина Дмитриевича**, ведущего научного сотрудника лаборатории 100 и кандидата технических наук, доцента **Асхадуллина Радомира Шамильевича**, заместителя директора Отделения физико-химических технологий Акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» и в отзыве кандидата технических наук **Прокунина Сергея Викторовича**, начальника лаборатории – ученого-хранителя государственных эталонов pH и pX Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений», замечаний не содержится.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован их высокой компетентностью, которая подтверждена значительным количеством публикаций в области радиохимии и технологии обращения с радиоактивными отходами и позволяет оценить научную и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны: оригинальная методика определения проницаемости по воде протонпроводящих мембран с использованием изотопных меток; новые экспериментальные и расчетные методики определения массообменных характеристик изотопного обмена между водородом и водой на гетерогенных катализаторах в новых мембранных контактных устройствах, позволяющие выявить закономерности процесса в широком диапазоне условий его проведения; новая экспериментальная методика определения кинетических характеристик процесса выделения трития из отвержденных матриц для иммобилизации низкоактивных тритийсодержащих водных отходов.

предложены: метод расчета распределения концентраций тяжелых изотопов водорода по высоте колонны при разделении трехкомпонентных изотопных смесей методом ректификации воды под

вакуумом, расширяющий представления о закономерностях процессов тонкого разделения смесей; методика повышения эффективности изотопного обмена между водородом и водой на гетерогенных катализаторах в новых мембранных контактных устройствах за счет повышения проницаемости мембран типа Nafion при ее модификации ионами металлов с последующей регенерацией;

доказана перспективность использования новых контактных устройств насадочного и мембранного типа для создания высокоэффективных аппаратов-разделителей установок детритизации низкоактивных тритийсодержащих водных отходов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны предположения о молекулярном механизме переноса изотопов водорода через протонпроводящие мембраны типа Nafion при отсутствии электропереноса, вносящие вклад в расширение представлений об изучаемом явлении и расширяющие границы применимости полученных результатов;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс методов исследования в области разделения изотопов легких элементов и анализа структуры и свойств твердых материалов;

изложены аргументы, подтверждающие гипотезу о неравнозначном влиянии сопротивлений массопереносу при изотопном обмене между водородом и водой на гетерогенных катализаторах в контактных устройствах мембранного типа;

раскрыты основные закономерности влияния условий на массообменные характеристики изотопного обмена при детритизации водных тритийсодержащих отходов с использованием процессов химического изотопного обмена водорода с водой в контактных устройствах мембранного типа и вакуумной ректификации воды в аппаратах-разделителях с регулярными и нерегулярными насадками.

проведена модернизация разработанной ранее методики расчета массообменных характеристик изотопного обмена водорода с водой в контактных устройствах мембранного типа, позволившая расширить границы ее применимости.

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

разработаны и внедрены высокоэффективные аппараты-разделители с отечественными насадками для установок изотопной очистки тяжелой воды и детритизации легководных тритийсодержащих отходов;

определены перспективы практического использования новых мембранных контактных устройств для создания мобильных установок детритизации низкоактивных легководных тритийсодержащих отходов, отечественных регулярных и нерегулярных насадок для создания крупномасштабных установок детритизации методом ректификации воды под вакуумом, процесса цементирования как способа иммобилизации низкоактивных тритийсодержащих водных отходов;

создан комплексный подход по обращению с тритийсодержащими водными отходами с учетом их количества и активности;

представлены технические предложения по обращению с низкоактивными тритийсодержащими водными отходами с использованием методов вакуумной ректификации воды и химического изотопного обмена водорода с водой.

Результаты работы могут быть рекомендованы для изучения и внедрения в научных и образовательных организациях, а также на предприятиях Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», в частности, на Федеральном государственном унитарном предприятии «Производственное объединение «Маяк», Федеральном государственном унитарном предприятии «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО», Федерального государственного унитарного предприятия «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **результаты** получены на сертифицированном аналитическом оборудовании, показана воспроизводимость результатов исследований в различных условиях;

– **идея** комплексной технологии обращения с низкоактивными тритийсодержащими водными отходами базируется на обобщении передового опыта и современной нормативно-законодательной базе в области обращения с радиоактивными отходами;

– **использованы** сравнение авторских результатов и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике, современные методики сбора и обработки исходной информации, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов исследования и измерения;

– **установлено** качественное совпадение авторских результатов с данными, представленными в независимых источниках по данной тематике;

– **достоверность** полученных результатов обеспечена использованием методик эксперимента, соответствующих современному научному уровню, и подтверждена их согласованностью;

– **выводы** диссертации обоснованы и не вызывают сомнения и согласуются с современными представлениями о теории разделения изотопов легких элементов и принципами обращения с радиоактивными отходами.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах процесса; в постановке задач, разработке и проведении пуско-наладочных испытаний на экспериментальных и опытно-промышленных стендах; проведении всех экспериментов; обработке и интерпретации экспериментальных данных; личном участии в апробации результатов исследования; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения проблемы обращения с тритийсодержащими водными отходами, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части формулы специальности «Создание и совершенствование технологических схем, ресурсо-, энергосбережение, охрана окружающей природной среды в технологии редких и радиоактивных элементов» и области исследований «Снижение отходности производств, фиксация отходов в виде малоподвижных, безопасных для окружающей среды соединений или трансформация их в полезные продукты». По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

На заседании «27» августа 2019 года, протокол № 19, диссертационный совет принял решение присудить Растуновой Ирине Леонидовне ученую степень доктора технических наук по специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности и отрасли наук рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 16, против присуждения ученой степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета
доктор химических наук, профессор,
член-корреспондент Российской академии наук А.М. Чекмарев

Ученый секретарь заседания диссертационного совета
доктор технических наук, профессор Н.А. Макаров