О Т З Ы В

официального оппонента Калмыкова Степана Николаевича на диссертационную работу

БЕЛКИНА ДМИТРИЯ ЮРЬЕВИЧА

«Изотопная очистка теплоносителя промышленного тяжеловодного реактора ЛФ-2»

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 - «технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов».

Тяжелая вода (D_2O) является важным стратегическим материалом, находящим применение в качестве теплоносителя и замедлителя в ядерных реакторах. Ее использование определяется ее ядерно-физическими и тепло-физическими свойствами. Большинство нейтронно-физических характеристик тяжелой воды превосходят таковые для других используемых замедлителей нейтронов – обычной воды, бериллия и графита. Использование D_2O как эффективного замедлителя нейтронов позволяет использовать уран с природным соотношением изотопов в качестве ядерного топлива.

К изотопному и химическому составу тяжелой воды предъявляют весьма жесткие требования. Они, в том числе, относятся к содержанию как протия, так и трития. Для обеспечения работы реактора, концентрация дейтерия должна быть не менее 99%, а нормальное рабочее значение составляет 99,8 ат.%. С одной стороны происходит накопление протия (в виде легкой воды) в основном за счет технологических операций, что ухудшает свойства тяжелой воды. С другой стороны, за счет протекания различных ядерных реакций, происходит аккумуляция трития, что увеличивает дозовые нагрузки на персонал из-за вдыхания паров тритированной воды. Все это обуславливает необходимость развития технологий получения тяжелой воды высокой изотопной чистоты. Важно отметить, что фактически подобная полномасштабная технология в нашей стране отсутствует, а существующие мощности по получению тяжелой воды, созданные на базе ПИЯФ НИЦ «Курчатовский Институт», не позволяют полностью удовлетворить существующий и потенциальный спрос на данное сырье. Так, именно из-за отсутствия мощностей по получению больших объемов тяжелой воды, не был реализован проект создания тяжеловодного реактора ВВР-640 в Приморье. Основная мотивация данной работы определяется необходимостью изотопной очистки теплоносителя тяжеловодного реактора ЛФ-2 (ФГУП «ПО «Маяк») и разработки технологии получения тяжелой воды «на месте» для обеспечения его работы. По этой причине данная работа является крайне **актуальной** и имеет большое практическое значение.

В рамках заявленной цели – разработки технологии очистки тяжеловодного теплоносителя реактора ЛФ-2 от протия и трития методом ректификации водя под вакуумом, сформулированы задачи, решение которых определяют **научную новизну** данной работы. Так, автором впервые изучено влияние технологических параметров ректификационной колонны на эффективность разделения изотопов, систематизированы гидродинамические и массообменные характеристики насадок, разработана математическая модель для каскада колонн для разделения бинарных смесей изотопов водорода, впервые проведена расчетная оптимизация параметров каскада насадочных колонн ректификации воды под вакуумом для поддержания концентрация трития в тяжеловодном замедлителе.

Следует отметить, что диссертационная работа с точки зрения использованных методов и подходов, обработки результатов экспериментов, математического моделирования процессов ректификационного разделения изотопов, выполнена на самом высоком научном уровне. Все положения, выносимые автором на защиту, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, полностью **обоснованы**.

Диссертация написана современным научным языком. Отдельные ее разделы, например, литературный обзор, могут представлять широкий интерес и оппонент рекомендует в дальнейшем рассмотреть вопрос публикации обзорной статьи на основе материала, представленного в литературном обзоре.

Структура диссертации соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям. Она состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения. Общий объем работы – 151 страница, включая 43 рисунка, 26 таблиц и библиографию из 198 наименований.

Во введении сформулированы актуальность, научная новизна работы, ее цель и задачи, а также положения, выносимые на защиту. В литературном обзоре приводятся сведения о тяжелой воде, как замедлителе и теплоносителе в ядерных реакторах, об основных свойствах трития и методах разделения изотопов водорода, в том числе о ректификации, как основном методе, приводятся описания математического моделирования ректификационных процессов. В заключение литературного обзора автором приводятся выводы, в которых сформулирована необходимость проведения исследований, описанных в данной диссертационной работе. Вторая глава описывает методики проведения экспериментов и обработки результатов. Основные результаты работы приведены в третьей главе, которая состоит из нескольких подразделов: результаты исследования характеристик нерегулярных насадок, исследование характеристик регулярных насадок и описание практического применения результатов исследований. Четвертая глава диссертации посвящена математическому моделированию и оптимизация каскадов ректификации воды под вакуумом для депротизации и детритизации тяжеловодного теплоносителя.

Разработанная в рамках выполнения работы математическая модель предназначена для расчета и оптимизации каскадов разделения изотопов водорода методом ректификации воды под вакуумом. При создании модели были предприняты попытки устранения недостатков, характерных для большинства моделей, таких как рассмотрение ректификации как разделение многокомпонентной смеси, а также использование при расчете характеристик контактных устройств только одного типа.

Недостатки работы. Существенных недостатков в работе нет. При этом оппонент хотел бы высказать ряд замечаний, которые скорее носят рекомендательных характер и не уменьшают положительного отношения к работе. Во-первых, название работы – «Изотопная очистка теплоносителя промышленного тяжеловодного реактора ЛФ-2» несколько сужает значимость полученных результатов. Так, разработанная технология может быть применена для получения и очистки тяжелой воды для различных применений, а не только для нужд тяжеловодного реактора ЛФ-2. Во-вторых, было бы крайне желательно указать способы обращения или дальнейшего использования высококонцентрированной тритированной воды, образующейся в каскаде детритизации. В-третьих, оппонент считает, что автором предложена несколько неудачная формулировка выводов, которая имеет явный констатирующий характер. Так, неудачным кажутся формулировки типа «изучены свойства…», «показана перспективность …», «выявлено влияние…». Было бы целесообразно конкретизировать каждый вывод, например, какое именно влияние было выявлено, какие характеристики получены и пр.

Автореферат соответствует полному тексту диссертации.

Результаты работы опубликованы в 7 научных работах, в том числе 2 в научных журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Работа прошла апробацию на ряде международных и всероссийских конференциях.

Результаты работы могут быть использованы в научных и учебных организациях, занимающихся изучением вопросов радиохимии, радиоэкологии и технологии радиоактивных элементов, таких как Томский политехнический университет, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара и др.

По своему содержанию диссертационная работа Д.Ю. Белкина соответствует паспорту научной специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части формулы специальности части формулы специальности «Создание и совершенствование технологических схем, ресурсо-, энергосбережение, охрана окружающей природной среды в технологии

редких и радиоактивных элементов» и области исследования «Способы утилизации техногенного и вторичного сырья».

Диссертационная работа Белкина Дмитрия Юрьевича «Изотопная очистка теплоносителя промышленного тяжеловодного реактора ЛФ-2» выполнена на высоком и современном научном уровне, она является научно-квалификационной работой, в которой содержится научно-обоснованное решение задачи переработки и получения тяжелой воды, имеющей большое значение для развития ядерной отрасли. По своей актуальности, научной новизне, научно-практической значимости и достоверности результатов соответствует требованиям ВАК по «Положению о присуждении учёных степеней», утверждённому постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук. Белкин Дмитрий Юрьевич заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 - технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Заведующий кафедрой радиохимии
химического факультета
Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова»,
член-корреспондент РАН, доцент, д.х.н. Степан Николаевич Калмыков

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1 стр.3
тел: 8(495)9393220
stepan@radio.chem.msu.ru

Подпись Калмыкова
Степана Николаевича удостоверяю:
декан химического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
академик Лунин Валерий Васильевич

“07” апрель 2017 г.