**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ)**

мкр. Орлова роща, д. 1, г. Гатчина, Ленинградская область, 188300
Телефон: (81371) 4-60-25, факс: (81371) 3-60-25. E-mail: dir@pnpi.nrcki.ru
ОКПО 02698654, ОГРН 1034701242443, ИНН 4705001850, КПП 470501001

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель директора по научной работе
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ

_____ д.ф.-м.н. **В.В. Воронин**

№ 14

«07» декабря 2018 г.

# ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на диссертацию **ТХЕТ Мьйо Аунга «Получение концентратов стабильных изотопов водорода и кислорода ректификацией воды в затопленном и пленочном режимах»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 - «Технология неорганических веществ».

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Диссертационная работа Тхет Мьйо Аунга посвящена изучению процессов получения стабильных изотопов водорода и кислорода методом ректификации воды и поиску возможных путей интенсификации изотопного обмена за счет разработки новых высокоэффективных контактных устройств для пленочного и затопленного режимов проведения процесса, а также оптимизации использования известных видов насадок.

Основные проблемы метода ректификации воды связаны с низким коэффициентом разделения изотопов водорода и кислорода и, как следствие, с

большим размером разделительной аппаратуры и высокими капитальными затратами, в числе которых стоимость контактного устройства (насадки) занимает существенную часть. Высота разделительных колонн также определяется типом и размером контактного устройства. Выбор оптимального контактного устройства для реализации каждой конкретной задачи разделения определяется влиянием ряда противоположно направленных факторов, связанных с геометрией насадки, ее пропускной и разделительной способностью, материалом, стоимостью и другими факторами.

В настоящее время ректификацией воды решаются многие масштабные задачи, потому работа Тхет Мьйо Аунга, направленная на получение большого массива данных по традиционным и новым контактным устройствам для ректификации, а также оптимизация способа использования контактных устройств, является весьма своевременной и актуальной.

**Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа Тхет Мьйо Аунга состоит из введения, четырех глав, выводов и списка цитируемой литературы. Она изложена на 115 страницах, включая 52 рисунка и 24 таблицы. Список цитируемой литературы содержит 79 наименований. Содержание диссертации изложено ясно, грамотно и последовательно, выводы логичны.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи работы, основные положения, выносимые на защиту, и в авторской версии изложены научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту, указаны личный вклад автора, апробация результатов.

**В литературном обзоре** автором проведен анализ литературных данных, отражающих современное состояние работ по использованию насыпных и структурированных контактных устройств в колоннах ректификации воды при решении различных задач изотопного разделения. Рассмотрены основные параметры контактных устройств и способы их определения. Представлены гидродинамические и массообменные характеристики основных видов насадок, использующихся при ректификации воды, а также проанализированы некоторые подходы к выбору контактного устройства в зависимости от типа и масштаба решаемой задачи разделения. Глава завершается выводами, в которых обосновываются актуальность и цель диссертационной работы.

**Во второй главе** изложены экспериментальные, аналитические и расчетные методики, использовавшихся в работе.

**В третьей главе** изложены результаты гидродинамических и массообменных испытаний известных и новых типов насыпных и структурированных насадок в колонне диаметром 150 мм (который является максимальным для практики изотопного разделения на насыпных насадках), в зависимости от способа подготовки поверхности насадки, методики загрузки насадки в колонну и ее запуска, влияния распределения орошения и режима работы колонны – пленочного или с затопленным слоем.

Показано, что при обработке поверхности нержавеющей стали высокотемпературным обжигом с последующим травлением разбавленным раствором смеси азотной и соляной кислот образуется высокоразвитая гидрофильная, не подверженная коррозии в воде поверхность, на которой достигаются наилучшие масообменные характеристики процесса получения концентратов изотопов водорода и кислорода ректификацией воды. Для медной поверхности наилучшие результаты достигнуты при обработке ее раствором холодного чернения «Экомет-504». Также определены оптимальные условия для обработки насадки из алюминиевой проволоки.

Впервые количественно изучено влияние способа загрузки насадки в колонну и пускового периода на достигаемую эффективность разделения, характеризуемую высотой теоретической ступени разделения, и в пленочном режиме работы контактных устройств получены зависимости гидродинамических и массообменных характеристик традиционных и новых насыпных и структурированных насадок в условиях оптимального проведения процесса разделения.

В этой же колонне с использованием режима эмульгирования впервые получены данные по массообменным характеристикам контактных устройств в процессе ректификации воды. Показано, что без использования сложных дорогостоящих процедур подготовки поверхности насадок в режиме эмульгирования может быть достигнута такая же эффективность массообмена, причем при более высокой производительности колонны.

Разработан критерий сравнения контактных устройств (стоимость одной теоретической ступени разделения заданной производительности), учитывающий влияние противоположно направленных факторов размера элемента и условий разделения (нагрузки и давления) на пропускную способность и высоту теоретической ступени разделения, с учетом материало- и трудоемкости изготовления насадок и обработки их поверхности. Приведена таблица сравнения традиционных и новых контактных устройств по этому критерию.

**В четвертой главе** приведены примеры использования ректификации воды для реализации процессов получения концентрата изотопа кислород-18 98 ат.% из его отходов при производстве радиофармпрепаратов, дейтерия 99,96 ат.% из его отходов при синтезе дейтерированных соединений и выращивании дейтерированных кристалллов, и воды, очищенной от тяжелых изотопов водорода и кислорода из воды природного изотопного состава.

**В заключении** приводятся обоснованные выводы по всем результатам работы, также показана перспектива дальнейшей разработки темы.

**Научная новизна** представленной Тхет Мьйо Аунг диссертационной работы не вызывает сомнений. В качестве наиболее важных новых результатов можно указать следующие:

1. Впервые количественно изучено влияние традиционных и новых способов обработки поверхности контактных устройств на эффективность массообмена;

2. Разработаны новые типы насыпных и структурированных контактных устройств и получены их гидродинамические и массообменные характеристики;

3. Впервые наработана систематическая база данных по традиционным и новым контактным устройствам, полученная в условиях оптимального осуществления разделительного процесса;

4. Впервые проведено определение эффективности массообмена в режиме затопления для процесса ректификации воды.

**Практическая значимость** представленной Тхет Мьйо Аунг диссертационной работы заключается в том, что в работе:

1. Выявлены способы подготовки поверхности насадок для получения концентратов изотопов водорода и кислорода ректификацией воды, позволяющие достичь максимальную эффективность разделения при минимизации затрат на проведение процесса;

2. Разработаны новые эффективные типы насыпных и структурированных контактных устройств для получения концентратов изотопов водорода и кислорода;

3. Наработана база данных по гидродинамическим и массообменным характеристикам традиционных и новых контактных устройств для ректификации воды, позволяющая для каждой конкретной задачи получения

концентратов изотопов водорода и кислорода выбрать оптимальный тип и размер контактного устройства;

4. Показано, что использование эмульгационного режима при ректификации воды позволяет для ряда применений увеличить производительность оборудования и сократить затраты на подготовку насадки к работе.

Полученные результаты соответствуют поставленным целям и задачам, а тема диссертации соответствует заявленной специальности.

В целом, работа написана хорошим языком, содержит необходимые пояснения и оставляет хорошее впечатление. Однако по ее содержанию и оформлению можно сделать ряд замечаний:

1. Утверждение на стр.13, что на всех тяжеловодных реакторах для депротизации используется только ректификация воды представляется весьма спорным.
2. В работе не указываются погрешности экспериментально измеренных величин и не приводится оценка их неопределенности.
3. В декларируемой практической значимости работы указано, что «проведен расчет оптимизированных установок получения концентратов изотопов водорода и кислорода». В работе же такие расчеты не представлены, хотя их наличие, несомненно, украсило бы диссертационную работу.
4. В главе 4 не приводится доказательств заявленного в автореферате положения о существенном снижении капитальных затрат и себестоимости продукции при использовании результатов настоящей работы.
5. На рисунках значения давления и перепада давления приведены во внесистемных единицах, что затрудняет восприятие. На рисунках 33-35 не указано давление, при котором проводились эксперименты.
6. В работе можно найти некоторое количество опечаток и описок (ошибка в нумерации таблицы, пустые квадратные скобки, куда не вставлены ссылки на литературу, отсутствие значка при □).
7. В списке литературы некоторые публикации приведены без их названия.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Тхет Мьйо Аунга, выполненной по актуальной теме на высоком научном и экспериментальном уровне. Несомненным достоинством

работы является значительный объем полученных экспериментальных данных и основанные на них рекомендации по выбору оптимальных контактных устройств при решении различных задач разделения, способам их обработки, загрузки в колонну и организации пускового периода с целью достижения наилучшего технологического результата. **Достоверность** полученных автором результатов подтверждается использованием комплекса современных физико-химических методов анализа, воспроизводимость проведенных измерений соответствует паспортным данным сертифицированных приборов, полученные результаты не противоречат основным закономерностям, вытекающим из опубликованных данных других авторов. Сформулированные в заключении основные выводы диссертации логично вытекают из содержания работы.

Результаты работы могут быть рекомендованы для изучения и внедрения в научных, образовательных и производственных организациях, в частности в РХТУ им. Д.И. Менделеева, ФГУП «ПО «Маяк», Радиевом институте им. В.Г. Хлопина (дочернее предприятие Госкорпорации «Росатом»), НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, АО «ВНИИНМ имени академика А.А. Бочвара».

**Автореферат** в целом (за исключением главы 4) полностью отражает содержание диссертации. Результаты работы представлены в 6 научных публикациях, в том числе в **двух** статьях в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, **шести** докладах на российских и международных конференциях.

По своему содержанию диссертационная работа Тхет Мьйо Аунга соответствует паспорту научной специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ в части формулы специальности 1.1. Производственные процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, **изотопы** и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты», 1.2. Технологические процессы (химические, физические и механические) изменения состава, состояния, свойств, формы сырья, материала в производстве неорганических продуктов, и области исследования 1.6. Свойства сырья и материалов, закономерности технологических процессов для разработки, технологических расчетов, проектирования и управления химико-технологическими процессами и производствами.

Диссертация Тхет Мьйо Аунга представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные решения

ряда задач эффективного получения концентратов изотопов водорода и кислорода, удовлетворяющих требованиям как технологии разделения изотопов, так и практического применения в разных областях знания.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, **Тхет Мьйо Аунг,** заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ.

Работа заслушана и поддержана на заседании научно-технического совета ядерных установок в отделе физики и техники реакторов НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ от 05.12. 2018 г., протокол № 334.

**Отзыв подготовил:**

Заведующий лабораторией разделения изотопов водорода отдела физики и техники реакторов НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, к.т.н.

**И.А. Алексеев**
*Alekseev_IA@pnpi.nrcki.ru*

Учёный секретарь НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, к.ф.-м.н.

**С.И. Воробьев**
*Vorobyev_SI@pnpi.nrcki.ru*

**Контакты ведущей организации:**
ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».
188300, Ленинградская область, г. Гатчина, мкр. Орлова роща, д. 1.
Тел.: +7 (81371) 460-25, E-mail: dir@pnpi.nrcki.ru.