



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

№ 34
«24» октября 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора по научной работе
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ
д.ф.-м.н. **В.В. Воронин**

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на диссертационную работу **Мосеевой Валерии Сергеевны** на тему «Повышение эффективности противоточного процесса изотопного обмена водорода с водой» представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. «Технология неорганических веществ».

1. Актуальность темы

Технология химического изотопного обмена (ХИО) водорода с водой с использованием гидрофобного катализатора является одним из наиболее перспективных методов разделением изотопов водорода. Данный процесс в варианте СЕСЕ (Combined Electrolysis and Catalytic Exchange) зарекомендовал себя, в том числе в НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, как очень эффективный процесс получения тяжелой воды на этапе конечного концентрирования и детритизации тяжелой воды. ХИО может быть успешно использован для очистки легкой воды от трития, которая образуется и накапливается на АЭС. Основная трудность задачи детритизации лёгкой воды на АЭС заключается в её масштабности – необходимости переработки больших потоков воды. Использование электролиза воды в СЕСЕ процессе приводит в

большим энергетическим затратам. Двухтемпературный процесс изотопного обмена вода-водород (DTWH – Dual-Temperature Water-Hydrogen) выглядит как единственная практическая альтернатива СЕСЕ. Энергоемкий нижний узел обращения потока (электролизёр) заменяется в DTWH так называемой «горячей колонной» (колонной, работающей в условиях, обеспечивающих относительно небольшое значение элементарного коэффициента разделения, что происходит при повышенных температурах). Для осуществления процесса разделения изотопов водорода по двухтемпературной схеме необходимо использование гидрофобного катализатора, обладающего термостойкостью как минимум до 180-200°C. Разработка такого катализатора предоставит возможность экспериментальной проверки эффективности использования двухтемпературной технологии. Важным и актуальным является разработка более активного катализатора для СЕСЕ процесса и оптимизация проведения этого процесса.

2. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертантом впервые показано, что модификация гранул $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ растворами силанов позволяет получить гидрофобизированный катализатор активации водорода, по каталитической активности сопоставимый с опытно-промышленным катализатором РХТУ-3СМ, термостойкий в инертной атмосфере вплоть до 380°C. Найдено, что активность платинового катализатора на основе СДВБ зависит от способа подготовки носителя и возрастает с увеличением объема пор. Разработан способ приготовления гидрофобного платинового катализатора на основе СДВБ с повышенной активностью.

На основе гидродинамических исследований комбинированных загрузок в колонну гидрофобных и гидрофильных контактных элементов путем анализа кривых отклика при импульсном вводе трассера предложена методика оценки влияния объемного отношения гидрофобных и гидрофильных элементов и условий эксплуатации разделительных колонн на сплошность движения потока жидкости, влияющее на распределение задержки по жидкой фазе между статической и динамической составляющими.

Для анализа экспериментальных данных предложено математическое описание движения потока жидкости через смешанный насадочно-каталитический слой по методу случайных блужданий. Подтверждено, что с гидродинамической точки зрения для обеспечения сплошности потока жидкости максимальная доля катализатора Pt/СДВБ (диаметр гранул 0,8-1,2 мм) в смеси с гидрофильной насадкой (СПН 3x3x0,2 мм) не должна превышать 20 об. %, а наибольшее влияние на характер движения жидкости оказывает способ запуска колонны.

С использованием полученной базы физико-химических данных о составляющих процесса каталитического изотопного обмена в системе вода-водород выявлены закономерности влияния параметров его проведения процесса на эффективность массообмена. Обнаружено существенное влияние конкурентной адсорбции паров воды и водорода на активных центрах катализатора на скорость каталитической составляющей процесса, а также показано, что снижение отношения потоков водяной пар/водород приводит к падению коэффициента массопередачи.

3. Значимость работы для науки и практики

Полученная в работе база физико-химических и гидродинамических данных расширяет возможности практического применения исследуемой технологии для разделения изотопных смесей водорода.

Результаты работы В.С. Мосеевой использованы для наработки опытной партии гидрофобного катализатора для установки извлечения трития из тяжеловодного отражателя реактора ПИК.

В работе предложен метод исследования структуры потоков в колонне, позволяющий определять оптимальное соотношение гидрофобной и гидрофильной составляющей для загрузки противоточной колонны изотопного обмена.

4. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты работы могут быть рекомендованы для изучения и внедрения в научных, образовательных и производственных организациях, изучающих, разрабатывающих и использующих процессы изотопного обмена в системе вода-водород в противоточных колоннах, в частности в НИЦ «Курчатовский институт», НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, РХТУ им. Д.И. Менделеева, ФГУП «ПО «Маяк», АО «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина», АО «ВНИИНМ имени академика А.А. Бочвара».

5. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Достоверность и обоснованность полученных В.С. Мосеевой результатов базируется на комплексном анализе современного состояния вопроса по теме диссертации; использованием комплекса современных методов исследований для осуществления экспериментальной части работы; критическом анализе полученных данных и воспроизводимости результатов.

6. Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению

Диссертация представляет собой законченное научное исследование. Содержание работы полностью отвечает требованиям, предъявляемым к квалификационной работе по указанной специальности. Объем диссертации составляет 159 страниц. Структура диссертации логична, результаты сформулированы чётко и обоснованно. Несомненным достоинством работы является значительный объем полученных экспериментальных данных и разработка методики синтеза гидрофобного платинового катализатора на основе СДВБ, обеспечивающей высокую активность катализатора в реакции изотопного обмена водорода с парами воды.

В качестве замечания можно отметить, что при исследовании гидродинамических и массообменных характеристик разделительных колонн в качестве объекта используются различные образцы катализаторов в сочетании со спирально-призматической насадкой (СПН) одного размера - $3 \times 3 \times 0,2$ мм. Выбор размера насадки не поясняется. Между тем гранулы катализатора Pt/СДВБ достаточно мелкие ($0,8-1,8$ мм), и на практике используются загрузки такого катализатора в сочетании со спирально-призматической насадкой размером $2 \times 2 \times 0,2$ мм. Было бы полезно провести исследования также с использованием более мелкой насадки, и обосновать выбор оптимального размера насадки для насадочно-каталитического слоя колонн. В исследовании использовалась СПН $3 \times 3 \times 0,2$ мм (СЕЛИВАНЕНКО™). В табл. 2 диссертации приводится значение удельной поверхности этой насадки – $1863 \text{ м}^2/\text{м}^3$, на сайте производителя эта величина указана, как $2640 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Следовало бы пояснить использование величины $1863 \text{ м}^2/\text{м}^3$ в выполненных в диссертации расчетах.

Содержание диссертации изложено чётко и ясно, работа хорошо оформлена и проиллюстрирована. В работе можно найти некоторое количество опечаток и описок (на стр. 7 вместо «тяжеловодного замедлителя» следует читать «тяжеловодного отражателя», на стр. 75 указано, что прямоточный реактор имеет внутренний диаметр $d_{\text{кол}} = 0,015$ мм).

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы В.С. Мосеевой, выполненной на актуальную тему на высоком научном и экспериментальном уровне.

7. Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата в полной мере отражает структуру, научные результаты и выводы диссертации. Текст автореферата оформлен стилистически грамотно, в соответствии с требованиями.

8. Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Результаты диссертации опубликованы в девяти печатных работах в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Семь из них индексируются в международных информационных системах (WoS, Scopus). Результаты работы обсуждались на международных и российских научных мероприятиях, что отражено в шести материалах конференций и школ. Получен 1 патент РФ. Публикации полностью отражают основное содержание работы.

9. Заключение

Диссертация В.С. Мосеевой «Повышение эффективности противоточного процесса изотопного обмена водорода с водой» является законченной научно-квалификационной работой, и по своей актуальности, практической значимости, научной новизне, объему и степени обоснованности полученных результатов соответствует требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом ректора № 1523 ст от 17 сентября 2021 г., предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Мосеева Валерия Сергеевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7 Технология неорганических веществ.

Отзыв обсуждён и утверждён на Учёном совете Отделения нейтронных исследований НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ (протокол № 176 от 21.10.2022).

Отзыв составил:

Заведующий лабораторией разделения изотопов водорода Отдела физики и техники реакторов
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ,
кандидат технических наук

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

Учёный секретарь
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ,
кандидат физико-математических наук

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