

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



**СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ**

**«ИЗОТОПЫ: ТЕХНОЛОГИИ,
МАТЕРИАЛЫ И ПРИМЕНЕНИЕ»**

19-23 октября 2015 года



Томск -2015

УДК 621.039.3(063)

ББК 35.364.лО

Изотопы: технологии, материалы и применение:

Материалы II Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (19-23 октября 2015 г.) Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: ООО «Графика», 2015. – 68 с.

Сборник содержит материалы тезисов докладов, участвовавших в конференции, посвященной обобщению опыта исследований и разработок в области технологий получения изотопов, использования соединений заданного изотопного состава в различных отраслях народного хозяйства, а также технологий утилизации и хранения отходов изотопных производств. Материалы сборника представлены в авторской редакции и предназначены читателям, интересующимся тематикой представленных научных направлений.

УДК 621.039.3(063)

ББК 35.364.лО

© ФГАОУ ВО «Томский политехнический университет, 2015

ПРИВЕТСТВИЕ УЧАСТНИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ

В этом году кафедра «Техническая физика» Физико-технического института Томского политехнического университета, являющегося одним из ведущих центров подготовки специалистов для атомной промышленности, впервые проводит II Международную конференцию молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы: технологии, материалы и применение», посвященную проблемам получения различными методами изотопной продукции, диагностики и методов анализа веществ и примесей, создания моноизотопных и изотопномодифицированных материалов, расширения областей использования изотопов, глубокой очистки трудно разделяемых веществ, хранения и утилизации отходов изотопных производств.

Природа дала возможность человеку создать уникальный инструмент для разделения веществ по изотопному составу с высокой разделительной способностью и производительностью. Показана принципиальная возможность разделения изотопов почти всех элементов таблицы Менделеева. Однако путь практической реализации различных технологий разделения изотопов оказался непростым. Главной преградой на пути широкомасштабной практической реализации лазерных методов по-прежнему остается низкая эффективность генерации лазерного излучения. Это обстоятельство в определенной степени способствовало привлечению внимания конференции к другим перспективным методам селекции (например, к селективному ионно-циклотронному резонансному нагреву ионов), а также к «традиционным» методам: электромагнитному, центрифужному, методам ректификации и химического изотопного обмена и ряду других. Важным аспектом в этом плане является повышение энерго- и ресурсоэффективности технологий разделения изотопов и получения соединений с заданным изотопным составом.

Новым направлением является получение моноизотопных, изотопномодифицированных материалов и расширение области их использования. Так, например, в ядерной энергетике используются изотопически обогащенные поглотители нейтронов, интегрированные в топливо и размещаемые в активной зоне реактора для увеличения глубины выгорания топлива без ухудшения его термодинамических и механических свойств, что приводит к более высокой эффективности и безопасности работы реактора.

Развитие физики элементарных частиц, астрофизики, космологии, γ – резонансной спектроскопии требует производства ряда изотопически обогащенных элементов высокой чистоты.

Основной задачей проводимой конференции является обобщение опыта исследований и разработок в области технологий получения изотопов и использования соединений заданного изотопного состава в различных отраслях народного хозяйства. Конференция призвана активизировать развитие науки и атомных производств страны, обеспечить интеграцию усилий работников вузов, НИИ и промышленных предприятий в решении наиболее актуальных проблем ядерной энергетики, укрепить связи образовательных учреждений с предприятиями отрасли, дать возможность публичного обсуждения информации о новых технологиях и научных направлениях, обеспечить продвижение научно-технических разработок в производство и повышение качества подготовки молодых специалистов.

Приглашаем Вас принять активное участие в нашей конференции. Искренне желаем всем участникам конференции интересных дискуссий и предложений, новых встреч и деловых контактов, успехов, научных достижений, счастья и благополучия!

**С уважением, президиум оргкомитета Долматов О.Ю.,
Шаманин И.В.**

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: Дьяченко А.Н., д.т.н., проректор ТПУ по научной работе и инновациям

Члены программного комитета

Казарян М.А. - д.ф.-м.н., профессор, академик НАН, ведущий научный сотрудник ФИАН, Армения

Плеханов В.Г. - д.ф.-м.н., профессор Института физики АН Эстонии

Milan Tichy - prof. Charles University in Prague Faculty of Mathematics and Physics Department of Surface and Plasma Science, Czech Republic

Юхин Ю.М. - д.х.н., профессор, главный научный сотрудник Института химии твердого тела и механохимии СО РАН

Скорынин Г.М. - д.т.н., советник по научной работе АО «ПО «ЭХЗ»

Мазур Р.Л. - директор Завода разделения изотопов АО «Сибирский химический комбинат»

Власов В.А. - д.ф.-м.н., профессор, член Международной Академии наук высшей школы и Международной Академии авторов научных изобретений и открытий, ректор ФГБОУ ВПО ТГАСУ

Дуйсебаев Б.О. - д.т.н., начальник управления науки АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ», Казахстан

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель: Долматов О.Ю., директор Физико-технического института ТПУ

Ученый секретарь: Сукотнова В.В.

Члены организационного комитета

Шаманин И.В., д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой ТФ ФТИ

Орлов А.А., д.т.н., профессор кафедры ТФ ФТИ

Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор кафедры ТФ ФТИ

Вергун А.П., д.ф.-м.н., профессор кафедры ТФ ФТИ

Бутов В.Г., д.ф.-м.н., профессор кафедры ТФ ФТИ

Видяев Д.Г., д.т.н., доцент кафедры ТФ ФТИ

Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент кафедры ТФ ФТИ

Тимченко С.Н., к.т.н., ст. преподаватель кафедры ТФ ФТИ

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарное заседание

ХАНДОРИН Г.П.

К-захват электрона изотопом палладия и холодный синтез ядер..... 6

MILAN TICHY,

Plasma thrusters, principles, applications, diagnostics..... 6

СКОРЫНИН Г.М.

Диалектика ротора: история создания газовой центрифуги..... 11

КАЗАРЯН М.А.

Эффективность использования металлов для плазмохимический
переработки полимерных отходов..... 6

ДУЙСЕБАЕВ Б.О.

Современные достижения в области добычи урана

МАЗУР Р.Л.

Стабильные изотопы в науке, технике и медицине..... 6

МАЗУР Р.Л.

Газоцентрифужные производства России: реалии и
перспективы..... 6

Секция 1. СЕЛЕКЦИЯ ВЕЩЕСТВ КИНЕТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ (ЦЕНТРИФУГИ, ГАЗОВАЯ ДИФФУЗИЯ)

УШАКОВ А.А., СОВАЧ В.П., ОРЛОВ А.А.

Математическая модель нестационарных гидравлических процессов,
протекающих в каскаде газовых центрифуг при разделении
многокомпонентных изотопных смесей..... 13

МАЛЮГИН Р.В., ОРЛОВ А.А., ЦИМБАЛЮК А.Ф.

Математическая модель процесса десублимации газообразного
UF₆..... 14

УШАКОВ А.А., СОВАЧ В.П.

Получение высокообогащённого изотопа кремний-28 в каскаде
газовых центрифуг для международного проекта «Килограмм-2»... 15

ДЕРБАСОВА Н.М., ШАГОВА Ю.В., ГАВРИШ В.М.

Особенности микробиологической переработки отходов
уранового производства..... 16

ГАДЕЛЬШИН В.М., АЛЕКСАНДРОВ О.Е., СЕЛЕЗНЁВ В.Д. Анализ перспективных каскадных схем соединения четырёх поточных разделительных элементов с тремя отборами.....	17
НЕКЛЮДОВ А.А., БУТОВ В.Г., ТИМЧЕНКО С.Н. Использование теории графов для расчета параметров разделительного каскада.....	18
АЛЮКОВ Е.С., ОРЛОВ А.А. Методы рециркуляции урана в ядерно-топливном цикле.....	19
КОВАЛЕНКО Д.С., ОРЛОВ А.А., ЛЕВЧУК Р.В. Корреляция спектра сигнала датчика оборотов с процессом образования коррозионных отложений в роторе газовой центрифуги.....	20
ТИМЧЕНКО С.Н., ОРЛОВ А.А., СИДОРЕНКО В.С. Компьютерный тренажер ЗРИ АО «СХК».....	21

Секция 2. СЕЛЕКЦИЯ ВЕЩЕСТВ ОПТИЧЕСКИМИ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ, ИЦР, ЛАЗЕРНЫМИ И ПЛАЗМЕННЫМИ МЕТОДАМИ. ДИАГНОСТИКА И МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ И ПРИМЕСЕЙ

ХРОМЯК М.И., КУРАПОВ Н.Н., ШАРАВИНА М.В., ТЕЛЬНОВ А.В. Оптимизация теплового режима работы мишени тормозного излучения электронного ускорителя ЛУ-8-2.....	23
СОСНОВСКИЙ С.А., КАЗАРЯН М.А., ОБХОДСКАЯ Е.В., Сачков В.И. Исследование изотопного состава продуктов плазмохимической конверсии гексафторида серы.....	24
БЕСПАЛА Е.В., ТИТОВ Е.С., МЫШКИН В.Ф. Расчет температурного поля внутри плазмохимического реактора для разделения изотопов углерода.....	25
БЕСПАЛА Е.В., ПАВЛЮК А.О., КОТЛЯРЕВСКИЙ С.Г. Формирование плазменного потока при спиновой сепарации изотопов углерода.....	26
УШАКОВ И.А., ГРИГОРЬЕВ А.С., БАБАЕВ Р. Сепарация изотопов углерода в плазме дугового разряда под действием магнитного поля.....	27
БОРЕЦКИЙ Е.А., ВЕРХОРУБОВ Д.Л., ВИДЯЕВ Д.Г. Определение сорбционных свойств наноразмерных материалов....	28
ШАМАНИН В.И., РЕМНЕВ Г.Е. Устойчивость пары взаимодействующих ионов при ускорении и транспортировке.....	29

Р.В. ПЕРЕКРЕСТОВ, П. КУДРНА	
Лазерный контроль дисперсности конденсированной фазы, образующейся в плазменных процессах.....	30
С.В. МАКАРЕВИЧ, В.Ф. МЫШКИН	
Исследование изотопного эффекта при кристаллизации в магнитном поле из водного раствора.....	31

Секция 3. ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ И ХРАНЕНИЯ ОТХОДОВ ИЗОТОПНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

АУСЕНОВ К.Ж., ШАМАНИН И.В.	
Оценка эффективности строительства АЭС на базе реакторов средней либо большой мощности для ядерной энергетики Казахстана.....	33
ПАВЛЕНКО А.П., КАРЕНГИН А.Г.	
Моделирование и исследование процесса плазменной обработки радиационно-загрязненных водно-солевых отходов в виде азотнокислых экстракционных рафинатов.....	34
ПЕШЕХОНОВА А.С., КАРЕНГИН А.Г.	
Моделирование и исследование процесса плазменной обработки отходов в виде аммиачных маточных растворов.....	35
ШЕХОВЦОВА А.П., ОРЕШКИН Е.А., НОВОСЕЛОВ И.Ю., КАРЕНГИН А.Г.	
Моделирование и исследование процесса обработки в воздушной плазме радиационно-загрязненных иловых отложений бассейнов- хранилищ в виде водно-солеорганических композиций.....	36
ШАЙМЕРДЕНОВ А.А., ЧЕКУШИНА Л.В., ШАМАНИН И.В.	
Результаты рассмотренной радиологической аварии на ИР ВВР-К с низкообогащенным топливом.....	37
ГРОМОВ В.О., ШАМАНИН И.В.	
Проблема накопления ядер-поглотителей нейтронов при вторичном и третичном рециклировании ядерного топлива.....	38
ГРИГОРЬЕВ А.С., МЫШКИН В.Ф.	
Исследование по очистке облученного графита на ФГУП «ГХК»...	39
ПАВЛЕНКО А.П., КАРЕНГИН А.А., КАРЕНГИН А.Г.	
Моделирование кинетики обработки радиационно-загрязненных водно-солевых отходов в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных горючих водно-солеорганических композиций..	40
ГОСТЕВА И.В., ПИРОЖЕНКО Т.Е., КАРЕНГИН А.Г.	
Моделирование и исследование процесса плазменной обработки реэкстрактов платиноидов после переработки ОЯТ.....	41

ПИУНОВА К.Г., КАРЕНГИН А.А., КАРЕНГИН А.Г. Применение ВЧФ-плазмотронов для плазменной обработки радиационно-загрязненных водно-солевых отходов.....	42
НОВОСЕЛОВ И.Ю., ПОБЕРЕЖНИКОВ А.Д., КАРЕНГИН А.Г. Модель реактора для обработки водно-солевых отходов ЯТЦ в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных горючих водно-солеорганических композиций.....	43

Секция 4. ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТОПОВ В ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ, ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И МЕДИЦИНЕ. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОТОПНО- МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

САВАНЮК С.Н., ШАМАНИН И.В. Колимация и вывод нейтронного пучка на ГЭК-8 реактора ИРТ-Т..	45
ЗУБОВ В.В., КАДОЧНИКОВ С.С., КАРЕНГИН А.Г. Моделирование и исследование процесса получения в воздушной плазме оксидных композиций урана и тория из водно-солеорганических композиций.....	46
ТУНДЕШЕВ Н.В., ЛЕМЕШЕНКО Т.И., КАРЕНГИН А.Г. Моделирование и исследование процесса получения в воздушной плазме оксидных композиций урана и плутония из водно-солеорганических композиций.....	47
ШИЛОВА К.О., КЛЮЧНИКОВА Ю.О., РЫЖАКОВА Н.К. Измерение и анализ величин, используемых при оценке радоноопасности территорий в Российской Федерации и Чешской Республике.....	48
ЗУКАУ В.В., КАБАНОВ Д.В., ЧИБИСОВ Е.В. Возможности производства изотопной продукции на реакторе ИРТ-Т ТПУ.....	49
СЕМЧЕНКО И.С., БАБАЕВ Р. Г., МЫШКИН В.Ф. Исследование изотопных эффектов при контакте веществ в магнитном поле.....	50
ЛЕМЯКИН А.Э., ВИДЯЕВ Д.Г. Особенности извлечения ртути из производственных шламов.....	51
ТЮДЕЛЕКОВ Е.А., ВИДЯЕВ Д.Г. Перспективы использования лития для нейтрон-захватной терапии.....	52

Секция 5. СЕЛЕКЦИЯ И ГЛУБОКАЯ ОЧИСТКА ТРУДНО РАЗДЕЛЯЕМЫХ ВЕЩЕСТВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

БАЛАШКОВ В.С., ДРОГАЛЕВ А.С. ВЕРГУН А.П.	
Разработка, моделирование гибких разделительных процессов с применением ионитов.....	54
АКИМОВ Д.В., ЕГОРОВ Н.Б., ЖУРАВЛЕВ Н.А.	
Изменение изотопного состава лития в процессе зонной перекристаллизации.....	55
ОБМУЧ К.В., АКИМОВ Д.В., ЕГОРОВ Н.Б.	
Исследование разделения редкоземельных элементов методом зонной перекристаллизации.....	56
ВЫДЫШ А.А., ФАТЕЕВА А.С., ДОВГИЙ И.И.	
Извлечение золота(III) из солянокислых растворов сорбентами на основе бензо-15-краун-5.....	57
ДОВГИЙ И.И., ГУБА Л.В., ЛЯПУНОВ А.Ю.	
Извлечение цезия сорбентами на основе клипсо-крауна производного дифенилгликольурилы и бензо-15-краун-5.....	58
БЕЖИН Н.А., ПОЛИЩУК С.А., ДОВГИЙ И.И.	
Извлечение стронция из азотнокислых растворов сорбентами на основе ди-трет-бутилдициклогексил-18-краун-6.....	59
ЯНКОВСКАЯ В.С., ЛЯПУНОВ А.Ю., ДОВГИЙ И.И.	
Извлечение кобальта сорбентами на основе дитретбутил-дициклогексил-18-КРАУН-6.....	60
ЦХЕ А.А., НЕЙМАН В.А., МЫШКИН В.Ф.	
Радикальные процессы при растворении озона в воде, находящейся в магнитном поле.....	61
ИЛЬ А.П., ДЮСЕМБЕКОВА А.А., СОХОРЕВА В.В.	
Радиационно-химическая и термическая прививка тонких пленок ПВДФ для функциональной мембраны.....	62
ДРОГАЛЕВ А.С., ВЕРГУН А.П., БАЛАШКОВ В.С.	
Промышленное применение электробаромембранных процессов для получения воды высокой степени очистки.....	63
ДЮСЕМБЕКОВА А.А., СОХОРЕВА В.В., КРАВЕЦ Л.И.	
Исследование свойств полипропиленовых трековых мембран с тонким слоем полимера, полученных методом электронно-лучевого диспергирования политетрафторэтилена в вакууме.....	64

ДИАЛЕКТИКА РОТОРА: ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ГАЗОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ

Скорынин Г.М.

АО «ПО «ЭХЗ»

Россия, г. Зеленогорск Красноярского края, ул. Первая промышленная, 1, 663690

E-mail: skorynin@gmail.com

Дан обзор основных событий, предшествовавших созданию в СССР первой газовой центрифуги для промышленного разделения изотопов урана. Приводится краткая хронология развития представлений о конструкции роторов центрифуги, начиная от молочных сепараторов XIX века, до современных газовых центрифуг (ГЦ). Показаны особенности опытных образцов ГЦ, разработка которых велась в США в рамках «Манхеттенского проекта» и в «Урановом клубе» Гитлера. На основе недавно рассекреченных первоисточников в докладе раскрыты основные этапы исследований и разработок прототипа ГЦ, проводимых в СССР Фрицем Ланге и группой Макса Штеенбека. Отмечен вклад конструкторов ОКБ Ленинградского Кировского завода под руководством Н.М. Синева, и роль ученых Лаборатории измерительных приборов АН СССР, возглавляемой академиком И.К. Кикоиным, в создание и внедрение ГЦ в отечественную промышленность. Обсуждаются вопросы о приоритете на изобретение ГЦ и о дальнейшем распространении газоцентрифужной технологии в других странах.

Секция 1

**СЕЛЕКЦИЯ ВЕЩЕСТВ КИНЕТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
(ЦЕНТРИФУГИ, ГАЗОВАЯ ДИФФУЗИЯ)**

Председатель: д.т.н., профессор А.А. Орлов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В КАСКАДЕ ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ИЗОТОПНЫХ СМЕСЕЙ

Ушаков А.А.¹, Совач В.П.¹, Орлов А.А.²

¹АО «ПО «ЭХЗ»,

Россия, г. Зеленогорск Красноярского края, ул. Первая промышленная, 1, 663690

E-mail: ushakov2015@sibmail.com

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: orlovaa@tpu.ru

Известно, что в ходе протекания нестационарных гидравлических процессов при разделении изотопных смесей нарушаются оптимальные режимы работы ступеней каскада газовых центрифуг, возникают возмущения, приводящие к нарушениям технических условий эксплуатации и недопустимым перегрузкам оборудования. Нестационарные гидравлические процессы влияют на условия работы оборудования, эффективность работы каскада и на качество выпускаемого продукта.

Каскады для разделения многокомпонентных изотопных смесей имеют небольшое газосодержание, следовательно, малую инерционность, что приводит к усилению влияния нестационарных процессов на эффективность работы каскадов. В связи с этим приобрело актуальность решение задачи их полномасштабного учета.

Данная задача решена нами путем создания и программной реализации соответствующей математической модели, в которой разделительная ступень каскада представлена в виде четырех выделенных объемов (коллектор питания, газовые центрифуги (ГЦ), коллектор отбора и коллектор отвала), а расчёт нестационарной гидравлики сводится к замене дифференциальных уравнений нестационарной гидравлики первого порядка разностными уравнениями по неявной схеме Эйлера [1], решению полученного линейного алгебраического уравнения и итерационному нахождению величин давлений во всех коллекторах и потоков на каждом временном слое, удовлетворяющих уравнению баланса вещества в каскаде.

В качестве примера нестационарного гидравлического процесса представлено заполнение каскада ГЦ для разделения смеси изотопов кремния рабочим веществом – тетрафторидом кремния.

Показано, что расчетные и фактические значения величин давления при заполнении находятся достаточно близко друг к другу (среднее отклонение составляет примерно 7,5 %). Это свидетельствует о том, что созданная математическая модель адекватно описывает нестационарные гидравлические процессы в каскаде ГЦ при разделении многокомпонентных изотопных смесей.

Предложенная математическая модель опробована нами еще на ряде химических элементов (Хе, Ni, W). В результате установлено, что она является универсальной для расчета гидравлических параметров каскадов ГЦ по разделению многокомпонентных изотопных смесей с использованием различных рабочих веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пирумов У.Г. Численные методы. – М.: Дрофа, 2003. – 221 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ ГАЗООБРАЗНОГО UF_6

Малюгин Р.В., Орлов А.А., Цимбалюк А.Ф.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: malyugin@tpu.ru

Происходящая в настоящее время модернизация разделительных предприятий требует, помимо замены основного технологического оборудования, решения ряда актуальных задач, которые включают разработку и проектирование конденсационно-испарительных установок (КИУ) повышенной производительности, оптимизацию режимов работы КИУ и усовершенствование их конструкции. Одним из перспективных путей решения описанных выше производственных задач является создание математических моделей процессов тепло- и массопереноса, протекающих в КИУ при сублимации и десублимации UF_6 поскольку возможности применения экспериментальных подходов ограничены и требуют проведения длительных и дорогостоящих экспериментов на действующем оборудовании или на лабораторных установках.

Данная работа посвящена математическому моделированию процесса десублимации газообразного UF_6 в вертикальной транспортной емкости, с учетом теплообмена через эллиптическое днище и боковую стенку емкости (крышка емкости с патрубком выступает из термостата, заполненного хладагентом) и конвекции газа в емкости.

Движение газообразного UF_6 в емкости считалось двумерным осесимметричным и описывалось системой интегральных уравнений сохранения массы, импульса и энергии. Считалось, что газообразный UF_6 не содержит примесей; газ является политропным, вязкость и теплопроводность при расчете газовой фазы не учитывались; температура внешней поверхности стенки емкости считается постоянной; температура фазового перехода равна равновесной температуре и определяется по давлению над слоем десублимата. Поскольку с течением времени толщина слоя десублимата увеличивается и объем емкости, занимаемый газом, уменьшается, для численного решения системы уравнений газовой динамики был выбран классический метод SIMPLE [1] на подвижной сетке.

Для расчета тепло- и массообмена происходящего при фазовом переходе UF_6 из газообразного состояния в твердое использовались одномерное уравнение теплопроводности для стенки емкости и слоя десублимата и интегральный закон сохранения энергии для проверки теплового баланса, скорость увеличения толщины твердого UF_6 определялась по условию Стефана. Для численного решения уравнения теплопроводности был использован итерационно-интерполяционный метод [2].

Рассмотренная нестационарная математическая модель десублимации UF_6 в вертикальной транспортной емкости была реализована в виде пакета прикладных программ с дружественным к пользователю интерфейсом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patankar S.V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. – Washington D.C.: Hemisphere, 1980. – 205 p.
2. Гришин А.М., Зинченко В.И., Ефимов К.Н. и др. Итерационно-интерполяционный метод и его приложения. – Томск: Изд-во ТГУ. 2004. – 320 с.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОБОГАЩЁННОГО ИЗОТОПА КРЕМНИЙ-28 В КАСКАДЕ ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ ДЛЯ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОЕКТА «КИЛОГРАММ-2»

Ушаков А.А., Совач В.П.

АО «ПО «Электрохимический завод»,

Россия, г. Зеленогорск Красноярского края, ул. Первая промышленная, 1, 663690

E-mail: ushakovaa2015@sibmail.com

В настоящее время все основные физические единицы измерения могут быть сведены к природным константам. В частности, единица измерения массы может быть сведена к массе некоторого числа атомов конкретного химического элемента.

В Физико-техническом федеральном ведомстве Германии уже более десяти лет эта проблема решается определением двух фундаментальных констант – числа Авогадро и постоянной Планка – через подсчёт количества атомов в идеальной сфере, изготовленной из кремния. Выбор этого элемента обусловлен достижением максимальной химической чистоты и совершенства структуры его кристаллов. Для уменьшения погрешности определения молярной массы используется кремний, высокообогащённый по изотопу ^{28}Si .

Кремний должен удовлетворять следующим требованиям:

- содержание изотопа ^{28}Si – более 99,997 %;
- отношение содержания изотопов ^{29}Si к ^{30}Si – более 5;
- химическая чистота: углерод (C) – менее $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, бор (B) – менее $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Задача АО «ПО ЭХЗ» как участника проекта – получение тетрафторида кремния, обогащённого изотопом ^{28}Si и удовлетворяющего требованиям проекта.

Приведена математическая модель каскада, описывающая процесс разделения изотопов. Производство продукта осуществляется на каскаде газовых центрифуг (ГЦ). В каскад подаётся поток питания – SiF_4 с природным содержанием изотопов кремния. Продукт снимается с потока отбора каскада.

Рассмотрены две схемы получения продукта: одноэтапная и двухэтапная схема.

При работе по одноэтапной схеме (один разделительный этап) содержание ^{28}Si удовлетворяло требованиям проекта, а отношение содержания ^{29}Si к ^{30}Si не соответствовало требованиям.

Двухэтапная схема технологического процесса подразумевает получение продукта в ходе двух последовательных этапов разделения:

– Первый этап разделения: на питание каскада подаётся SiF_4 с природным содержанием изотопов кремния, в потоке отбора – SiF_4 с содержанием ^{28}Si не менее 99 % и отношением содержания ^{29}Si к ^{30}Si более 5. Таким образом, полученный в потоке отбора первого этапа SiF_4 удовлетворяет требованиям проекта по отношению содержания ^{29}Si к ^{30}Si .

– Второй этап разделения: с целью увеличения содержания ^{28}Si полученный в потоке отбора первого этапа SiF_4 подаётся на питание каскада. С потока отбора снимается продукт – SiF_4 с изотопным составом, удовлетворяющим требованиям проекта как по содержанию ^{28}Si , так и по отношению содержания ^{29}Si к ^{30}Si .

После реализации двухэтапной схемы содержание ^{28}Si и отношение содержания ^{29}Si к ^{30}Si в продукте отвечает требованиям проекта.

С использованием указанной схемы в каскаде газовых центрифуг АО «ПО ЭХЗ» наработан SiF_4 , из которого получен поликристаллический кремний, с содержанием изотопа ^{28}Si 99,998 %, превышающим достигнутые ранее значения.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Дербасова Н.М., Шагова Ю.В., Гавриш В.М.

Научный руководитель: Гавриш В.М. к.т.н.,

Севастопольский государственный университет, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33

E-mail: derbmaks@mail.ru

Вопросы обращения с урановыми отвалами актуальны для всех стран, где ведется добыча урана. Существует необходимость в экологически безопасной и рентабельной технологии, предусматривающей извлечение остаточного урана и сопутствующих радиоактивных элементов из отвалов. При этом отходы от переработки должны соответствовать требованиям санитарных норм по уровню остаточной радиоактивности, что позволит их повторно использовать в промышленности и в атомной энергетике. На сегодняшний момент, для этой цели наиболее перспективен метод микробиологического выщелачивания.

Целью настоящей работы - усовершенствование модификации микробиологической переработки отходов уранового производства ассоциацией микроорганизмов *Thiobacillus ferrooxidans* и ацидофильных бактерий. Для достижения поставленной цели работы предложено использовать пачуковый и перколяционный методы бактериального выщелачивания урана из отходов производства Приднестровского химического завода на основе ассоциации микроорганизмов сульфидредуцирующих *Thiobacillus ferrooxidans* и ацидофильных бактерий. Основным отличием от предыдущих работ [1,2] является использование только биогенного железа, полученного в результате жизнедеятельности указанной выше ассоциации микроорганизмов. Полученные данные в ходе исследовательской работы (таблица 1,2) установили, что процессы перколяционного и пачукового вскрытия урановых руд в опробованных условиях характеризуются высокой степенью извлечения урана.

Таблица 1 Результаты исследования процентного содержания урана до и после эксперимента

Образец пробы	Результаты измерений до эксперимента	Результаты измерений после эксперимента	Результаты измерений жидкой фазы после эксперимента
Пачуковое выщелачивание	0,027	0,0110	0,0230
Перколяционное выщелачивание (щебень)	0,027	Не обнаружено	0,0324
Перколяционное выщелачивание (перемолотая руда)	0,027	0,0175	0,0211

Таблица 2. Результаты исследования снижения активности в выщелоченных рудах

Исходные данные, расп/сек	Перколяционное выщелачивание (перемолотая руда), расп/сек		Перколяционное выщелачивание (щебень), расп/сек		Пачуковое выщелачивание, расп/сек	
$\alpha=52$	Жидкая фаза	Твердая фаза	Твердая фаза	Жидкая фаза	Твердая фаза	Жидкая фаза
	$\alpha=2$	$\alpha=3$	$\alpha=0$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=2$
$\beta=218$	$\beta=86$	$\beta=70$	$\beta=52$	$\beta=66$	$\beta=94$	$\beta=68$

Для перколяционного выщелачивания снижение активности альфа - активности составило в $3,85 \cdot 10^5$ раз, а бета – активности в $2,06 \cdot 10^4$ раз. Остаточная радиоактивность соответствует любым национальным санитарным правилам для отнесения твердой фазы к не радиоактивным материалам, что позволяет ее использовать в качестве щебня при строительстве, как наполнитель бетона и т.д. Степень выщелачивания урана из отвалов при пачуковом выщелачивании составила 59,26%, что позволяет снизить альфа - активность в $3,85 \cdot 10^5$ раз, а бета – активность в $1,39 \cdot 10^4$ раз. По результатам экспериментов предложена схема участка переработки урановых отвалов в технологическом процессе. Оценен экономический эффект от применения модификации микробиологической переработки отходов уранового производства ассоциацией микроорганизмов *Thiobacillus ferrooxidans* и ацидофильных бактерий. При объемах утилизации 7 млн. тонн радиоактивных отвалов урановых шахт экономический эффект в ценах 2015 года составил – 140 – 150 млн. долл (при затратной части проекта – 77,3 млн.долл).

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КАСКАДНЫХ СХЕМ СОЕДИНЕНИЯ ЧЕТЫРЁХ-ПОТОЧНЫХ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ТРЕМЯ ОТБОРАМИ

Гадельшин В.М., Александров О.Е., Селезнёв В.Д.

Научный руководитель: Селезнёв В.Д., д.ф.-м.н., профессор

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

E-mail: gadelshinvm@mail.ru

В современном мире технологии разделения стали естественной и необходимой составляющей промышленности. Они находят своё применение в самых разнообразных отраслях, таких, как атомная и термоядерная энергетика, космическая индустрия, микроэлектроника, медицина, сельское хозяйство, материаловедение, нефтяная промышленность, экология, фундаментальные исследования и многих других [1]. В каждой из этих областей, возможность выделения веществ с заранее заданными теплофизическими характеристиками и иными интересующими свойствами, представляет чрезвычайную важность для последующего использования в конкретной поставленной задаче.

В работе представлены результаты исследования физико-математической модели процесса разделения в новых перспективных каскадах четырёх-поточных разделительных элементов с тремя отборами при малых обогащениях. На основе разработанных методик, произведён численный расчёт основных параметров различных каскадных схем соединения таких разделительных элементов [2] в системе автоматизированного проектирования Mathcad, при заданных параметрах потока питания каскада. С помощью полученных данных о распределении потока вещества по ступеням каскада и распределении концентрации компонентов разделяемой смеси в каждой точке каскада, проведён анализ эффективности работы рассматриваемых каскадных схем.

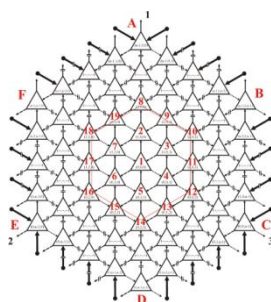


Рис. 1. Противоточная симметричная схема соединения - «схема X6»



Рис. 2. График зависимости КПД каскада от суммарного потока вещества в каскаде для различных схем соединения

Было получено, что наибольшим коэффициентом полезного действия η , среди рассматриваемых схем при любых значениях суммарного потока, обладает противоточная симметричная схема соединения «схема X6» (рис. 1). Более того, с ростом размеров каскада КПД этой схемы приходит к некоторому постоянному значению (рис. 2), что можно трактовать как его независимость от суммарного потока вещества в каскаде; продемонстрировано, что для рассматриваемого процесса разделения при малых обогащениях КПД «схемы X6» не зависит ни от числа разделительных ступеней в каскаде, ни от внешних характеристик процесса разделения. Неизменность коэффициента η позволяет рассчитать необходимые размеры каскада при заданных внешних параметрах. Это свойство имеет ценнейшее практическое значение, поскольку возможность предсказать размеры будущего производства и планируемые энергозатраты для конкретной поставленной задачи по разделению многокомпонентной смеси является одной из основных задач теории каскадов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лазерное разделение изотопов в атомарных парах / П.А. Бохан, В.В. Бучанов, Д.Э. Закревский, М.А. Казарян, М.М. Калугин, А.М. Прохоров, Н.В. Фатеев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 208 с.
2. Гадельшин В.М., Шульгин Б.В., Палкин В.А. Способ разделения изотопов // Патент на изобретение № 2500461 РФ / Заявл.11.03.2012. Публ. 10.12.2013. Бюл. №34.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

Неклюдов А.А., Бутов В.Г., Тимченко С.Н.

Научный руководитель: Тимченко С.Н., к.т.н.

Томский политехнический университет 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: timsn@tpu.ru

В современном разделительном производстве используются сложные многокаскадные технологические схемы, состоящие из нескольких разделительных каскадов соединённых между собой линиями межкаскадных коммуникаций. Каждый каскад, в свою очередь, состоит из разделительных ступеней соединённых, в общем случае, по противоточной симметричной схеме, в которой поток отбора ступени подается на питание следующей ступени, а поток отвала подается на питание предыдущей ступени[1-3]. В некоторых случаях может быть использована противоточная не симметричная схема, когда потоки отбора и отвала ступени подаются на питание через одну, две ступени и т.д. Кроме того, в процессе эксплуатации возможны ситуации, когда часть разделительных ступеней закрываются, в этом случае также происходит перенаправление межступенных потоков (байпасирование), при котором соответствующие межступенные потоки передаются в следующие работающие ступени минуя исключенное из работы оборудование.

Таким образом, современная технологическая схема разделительного производства, в общем случае, представляет собой набор разделительных ступеней соединённых между собой межступенными и межкаскадными коммуникациями произвольным образом. Расчет параметров подобных систем классическими итерационными методами достаточно сложен. В некоторых случаях, при значительных изменениях в технологической схеме, при расчете требуется внесение существенных изменений не только в начальные данные, но и в сам алгоритм расчета, что требует определенного времени и квалификации от пользователя программой по расчету параметров технологической схемы разделительного производства.

Преодолеть данную проблему можно совместив классические методы расчета каскада с теорией графов, это позволит существенно упростить процедуру расчета сложных, многокаскадных, технологических схем.

Таким образом, цель данной работы заключается в разработке универсальной методики расчета каскада по разделению бинарной изотопной смеси с использованием теории графов.

На основе классических итерационных методов расчета параметров разделительного каскада и теории графов была разработана методика расчета сложных технологических схем. На основе полученной методики разработан алгоритм расчета, который был реализован в виде программы в системе «MATLAB». С помощью разработанной программы были произведены расчеты технологических схем, состоящих из нескольких разделительных каскадов, произвольно соединённых между собой. Проведено моделирование ситуаций по закрытию нескольких ступеней и переносу точек подачи питания.

Результаты расчетов хорошо согласуются с результатами, полученными с помощью классических методов. Предложенная методика позволяет осуществлять расчет технологической схемы произвольной структуры без внесения изменений непосредственно в алгоритм расчета, что делает данную методику интересной для использования на реальном разделительном производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сулаберидзе, Г.А. Теория каскадов для разделения бинарных и многокомпонентных изотопных смесей: учеб. пособие / Г.А. Сулаберидзе, В.А. Палкин, В.Д. Борисевич, В.Д. Борман, А.В. Тихомиров. – М. : НИЯУМИФИ, 2011. - 368 с.
2. A. A. Orlov, S. N. Timchenko, V. S. Sidorenko, "Mathematical Model of Non-Stationary Hydraulic Processes Occurring in Gas Centrifuges for Uranium Enrichment", Advanced Materials Research, Vol. 1084, pp. 673-677, Jan. 2015
3. Орлов А.А., Тимченко С.Н., Сидоренко В.С. Математические модели нестационарных гидравлических процессов используемые в компьютерном тренажере разделительных производств по обогащению изотопов урана, Перспективные материалы. 2013. № 14. С. 83-86.

МЕТОДЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ УРАНА В ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ

Алюков Е.С.

Научный руководитель: Орлов А.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: orlovaa@tpu.ru

В зависимости от способа обращения с отработанным ядерным топливом (ОЯТ), ядерные топливные циклы подразделяются на открытые и замкнутые.

В открытом топливном цикле ядерное топливо производится из природного сырья или его соединений, а выгружаемое ОЯТ направляется на предварительное хранение с последующим окончательным захоронением в геологические формации. Таким образом, в открытом топливном цикле ОЯТ и соответственно содержащиеся в нем делящиеся материалы полностью выводятся из ядерно-топливного цикла атомной энергетики.

В замкнутом цикле топливо производится как из первичного, так и вторичного сырья, т.е. происходит утилизация делящихся нуклидов из отработанного топлива в результате его радиохимической переработки с возвратом в топливный цикл.

В настоящее время в России, хранится 14 тысяч тонн отработанного топлива и имеется возможность принять и переработать в течение десяти лет 20 тысяч тонн из-за рубежа, заработав на этом 10 миллиардов долларов. Сегодня переработка одного килограмма ядерного топлива стоит на мировом рынке 800 долларов. Переработка без возврата плутония – 1600 долларов. Переработка включает в себя растворение отработанного топлива, что делает возможным отделение урана и плутония от продуктов деления и актиноидов; последующее возвращение урана в топливный цикл путем обогащения до нужной концентрации.

Делящиеся материалы в ОЯТ представляют собой значительный энергетический потенциал, для использования который можно вернуть в топливный цикл для производства нового (вторичного) ядерного топлива. В топливный цикл может быть возвращен невыгоревший уран или накопленный плутоний или оба делящихся продукта.

Рецикл регенерированного урана и плутония снижает потребности в природном уране примерно на 20% и в мощности разделительных заводов – на 15%. Отработанное топливо ВВР реактора обычно содержит 1,15 % плутония, 94,3% урана, 4,55 % продукты распада. Сегодняшняя экономическая ситуация на урановом рынке ограничивает интерес в рециркуляции урана, это связано с необратимыми потерями ^{235}U в реакторах вызываемое радиационным захватом нейтронов без деления.

Пока природных запасов урана достаточно и регенерированное топливо в основном складировать. Но уже в этом столетии, по подсчетам специалистов, оно будет востребовано. Уже сейчас возможен замкнутый топливный цикл реакторов, но в нем основной проблемой является накопление сорных изотопов ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U при многократных возвратах в топливный цикл регенерируемого уранового топлива, неотделимых химическим путем. Можно выделить 4 основные схемы использования регенерированного урана: 1) без подпитки природного урана, 2) с подпиткой природного урана, 3) смешение с обогатителем, наработанным из природного урана, 4) смешение с обогатителем из регенерированного урана с реакторов, работающих на топливе с высокой концентрацией ^{235}U .

Показано, что при отсутствии подпитки природного урана, практически весь уран исчерпывается к третьему циклу, а содержание ^{232}U в регенерированном топливе существенно превышает допустимый уровень.

При смешении природного и регенерированного урана на звене разделения изотопов в соотношении 7:1 можно рассчитывать на то, что содержание изотопов ^{232}U в регенерированном топливе не превысит нескольких единиц на 10^{-7} вес % в большом количестве циклов использования, Это означает, что природный уран для замкнутого цикла ВВЭР также потребуются в значительных количествах.

При дообогащении регенерированного урана за счет смешения его с обогатителем в одной тонне регенерированного топлива расход регенерированного урана составил всего 46%, а расход разбавителя составил 43%. Таким образом, нейтрализация ^{232}U за счет разбавителя значительно снижает эффективность использования регенерированного урана, так как уменьшается замещение природного урана регенерированным.

На следующем этапе представляет интерес провести анализ эффективности методов рециркуляции урана.

КОРРЕЛЯЦИЯ СПЕКТРА СИГНАЛА ДАТЧИКА ОБОРОТОВ С ПРОЦЕССОМ ОБРАЗОВАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РОТОРЕ ГАЗОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ

Коваленко Д.С., Левчук Р.В.

Научный руководитель: Орлов А.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: dskov.tsk@gmail.com

При работе ротора газовой центрифуги, вращающегося с угловой скоростью более 60000 об/мин происходит его периодическое колебание в осевом и в радиальном направлениях. Любые изменения в режиме работы центрифуги приводят к увеличению амплитуды колебаний ротора. К таким изменениям относятся: появление дефектов и трещин, изменения гидравлического режима, образование нелетучих соединений – коррозионных отложений [1].

Колебания ротора контролируют:

1. Вибрационным методом.
2. Измерением длительности периодов сигнала датчика оборотов [2].
3. Измерением колебаний ротора по соотношению амплитуд спектральных составляющих сигнала с датчика оборотов.

Существенным недостатком вибрационного метода является низкая точность измерений потому что, датчики крепятся на некотором удалении от объекта измерения либо располагаются в непосредственной близости от него без крепежных устройств.

Второй метод не позволяет получить достаточное количество информации, необходимое для выявления сложных дефектов.

Недостаток третьего метода заключается в необходимости использования дополнительного анализатора спектра.

В связи с этим приобретают актуальность исследования, направленные на поиск связи между регистрируемым спектром сигнала датчика оборотов и процессами вызывающими дисбаланс ротора газовой центрифуги, а также их анализ.

Так как сигнал генерируемый датчиком оборотом имеет очень сложную форму, для того чтобы обойти ограничения анализа во временной области необходимо применять анализ сигнала в частотной области – спектральный анализ.

По спектру сигнала с датчика оборотов делают вывод о характере колебаний ротора и рассчитывают их величину, так как спектр сигнала с датчика оборотов содержит наиболее полную информацию о колебаниях ротора.

Целью данной работы являлась корреляция амплитуды спектра сигнала датчика оборотов с количеством накопленных коррозионных отложений.

Для установления корреляции, в течение 84 дней проводилось накопление коррозионных отложений, одновременно с помощью прибора «Кварц», осуществлялась регистрация спектров сигнала датчика оборотов в диапазоне частот $0 \div 2000$ Гц и спектров огибающей в диапазоне $0 \div 100$ Гц.

В результате анализа спектров огибающей сигнала датчика оборотов, были выявлены частоты, для которых значение амплитуд было максимальным, а также установлено, что с накоплением коррозионных отложений этот максимум смещался.

При анализе спектра сигнала на частоте 1550 Гц, была установлена корреляция амплитуды спектра датчика оборотов с массой накопленных коррозионных отложений и обнаружено, что смещение частоты с максимальным значением амплитуды отсутствует.

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение веса ротора приводит к смещению максимума амплитуд в диапазоне частот $29 \div 31$ Гц.
2. На частоте 1550 Гц установлена корреляция амплитуды спектра сигнала датчика оборотов с массой накопленных коррозионных отложений и обнаружено, что смещение частоты с максимальным значением амплитуды отсутствует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. – М.: Машиностроение, 1999. – С. 344.
2. Аш Ж. и др. Датчики измерительных систем: В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с франц. – М.: Мир, 1992. – С. 480.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР ЗРИ АО «СХК»

Тимченко С.Н., Сидоренко В.С.

Научный руководитель: Орлов А.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: orlova@tpu.ru

Для обеспечения надежной эксплуатации центрифужного разделительного производства большое значение имеет подготовленность оперативного персонала, выработка у него практических навыков по управлению технологическим процессом в условиях нормальной эксплуатации и в аварийных ситуациях, а также снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций по вине персонала.

Практические навыки оперативный персонал приобретает в процессе эксплуатации каскада, при этом не исключены ошибки, приводящие к нарушению технологического режима и к выходу оборудования из строя. Процесс обучения занимает много времени, так как аварийные ситуации случаются довольно редко, а создавать их искусственно нецелесообразно и достаточно опасно.

Применение тренажеров является сложившейся общемировой практикой профессиональной подготовки персонала, поскольку использование в учебном процессе реального оборудования либо требует очень больших затрат, либо в принципе невозможно. Так, например, на АЭС проблема подготовки персонала решена путем создания сначала компьютерного, а затем на его основе полномасштабного тренажера. Тренажеры также нашли широкое применение при подготовке высококвалифицированных специалистов в авиации, космонавтике, на транспорте.

В связи с этим приобрели актуальность работы, направленные на создание тренажера центрифужного производства по разделению изотопов урана. Разработка «Компьютерный тренажер для отработки действий оперативного персонала разделительного производства» включена в перечень важнейших отраслевых НИОКР и мероприятий по совершенствованию оборудования, технологии и инфраструктуры разделительных и сублиматных производств, утвержденный руководителем Минатома.

Применение тренажера на разделительных производствах обеспечит выполнение четырех взаимосвязанных задач: 1) обучение персонала, повышение его уровня квалификации и культуры безопасного ведения технологического процесса; 2) исследование нестационарных гидравлических процессов; 3) повышение эффективности эксплуатации разделительного оборудования; 4) повышение безопасности функционирования разделительных предприятий.

Нами разработана архитектура построения компьютерного тренажера, имитирующего рабочие места операторов центробежного производства по обогащению урана, которая реализована по технологии «клиент-сервер» и основана на взаимодействии независимых компонент с базой данных, содержащей информацию о составе оборудования, возможных схемах соединения элементов разделительного каскада, параметрах и состояниях этих элементов. Такая организация взаимодействия позволяет расширять функциональные возможности тренажера путем создания новых независимых компонент. На базе разработанной архитектуры создан компьютерный тренажер ЗРИ ОАО «СХК» для обучения оперативного персонала действиям по управлению технологическим процессом в штатных и аварийных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов – М.: СИНТЕГ, 2009. – 372 с.
2. Селезнев В.Е., Алешин В.В., Прялов С.Н. Современные компьютерные тренажеры в трубопроводном транспорте: математические методы моделирования и практическое применение. Под ред. В.Е. Селезнева. – М.: МАКС Пресс, 2007. – 200 с.
3. Власов В.А., Орлов А.А., Бутов В.Г., Тимченко С.Н. Моделирование нестационарных гидравлических процессов в каскадах центрифуг по обогащению изотопов урана // Известия Томского политехнического университета, 2009, Т. 315, № 2. – С. 94–97.
4. Филиппов В.А. Многозначные СУБД и XML базы данных. – М.: Ленанд, 2008. – 146 с.
5. Шкрыль А. Разработка клиент-серверных приложений в Delphi. – СПб.: БВХ-Петербург, 2006. – 480 с.

Секция 2

**СЕЛЕКЦИЯ ВЕЩЕСТВ ОПТИЧЕСКИМИ,
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ, ИЦР, ЛАЗЕРНЫМИ И
ПЛАЗМЕННЫМИ МЕТОДАМИ. ДИАГНОСТИКА И МЕТОДЫ
АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ И ПРИМЕСЕЙ**

Председатель: д.ф.-м.н., профессор В.Ф. Мышкин

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ МИШЕНИ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УСКОРИТЕЛЯ ЛУ-8-2

Хромяк М.И., Курапов Н.Н., Шаравина М.В.

Научный руководитель: Тельнов А.В., к.ф.-м.н.

Федеральное государственное унитарное предприятие

Российский федеральный ядерный центр –

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики,

Россия, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 39, 607190

E-mail: otd4@expd.vniief.ru

С целью оптимизации радиографического режима работы электронного ускорителя ЛУ-8-2 проведено расчетное моделирование мишени тормозного излучения. Данная работа состоит из двух основных этапов. Первым является подбор необходимых материалов и их геометрических размеров, а также способа реализации охлаждения мишени в установившемся тепловом режиме работы. Количество выделяемого тепла определялось потоком электронов, конвертируемых в тормозное излучение. Вторым этапом является определение оптимальной геометрии коллиматора тормозного излучения мишени для получения максимальной и равномерной дозы по площади поверхности исследуемого объекта.

В докладе представлен первый этап. С помощью численного моделирования проведена оптимизация теплового режима работы мишени. Мишень состоит из медного коллиматора и закрепленной в нем вольфрамовой пластины, на которую попадает поток ускоренных электронов с мощностью 2 кВт и средней энергией 8 МэВ. При этом плотность теплового потока составила 300 Вт/мм². Для стабилизации и контроля теплового режима в заданном диапазоне мишени применялось воздушное и водяное охлаждение. В результате подбора геометрии мишени, максимальные температуры для соответствующих выбранных материалов не выходят за предел допустимых значений. В результате оптимизации геометрии мишени и системы охлаждения, нагрев элементов конструкции не превысил значение пластической деформации ~2500°C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.С., Завьялов Н.В., Тельнов А.В. и др., Линейный резонансный ускоритель электронов ЛУ-8-2 для дистанционного обнаружения ВОУ // Труды международной конференции XII Харитоновские тематические научные чтения. 2010, С. 106-112.
2. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С., Основы экспериментальных методов ядерной физики. М., Атомиздат, 1977.
3. Тепловые свойства веществ. Составитель Иванов Г.Н. – Москва, изд. ЦНИИ Атоминформ, 1979.
4. Кухлинг Х., Справочник по физике, Москва «Мир», 1983.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ГЕКСАФТОРИДА СЕРЫ

Сосновский С.А., Казарян М.А., Обходская Е.В.

Научный руководитель: Сачков В.И., д.х.н., профессор

Сибирский физико-технический институт им. акад. В.Д. Кузнецова Томского
государственного университета, 634050, Россия, г. Томск, пл. Новособорная, 1

E-mail: ssa777@mail.ru

В последние годы значительно возрос интерес к химическим и физическим свойствам стабильных изотопов. Для их получения используются различные процессы. Основные методы разделения изотопов довольно дороги и требуют длительное время для получения большой степени обогащения. Поэтому актуальна разработка новых методов получения изотопов [1, 2]. Проблема переработки и утилизации отходов на разделительных заводах атомной промышленности в виде фторсодержащих веществ обостряется с каждым годом, так как увеличиваются объёмы хранилищ, и понижается их надёжность, обусловленная старением ёмкостей. Поэтому решение задачи комплексной переработки данных веществ с получением твердых устойчивых соединений металлов и безводного фтористого водорода имеет важное экологическое и экономическое значение.

Условия, реализуемые при импульсном возбуждении газовых смесей электронным пучком, благоприятны для организации цепных химических процессов. В этих условиях на получение требуемых продуктов расходуется энергия не только источника возбуждения, но и химическая энергия исходной реагентной смеси. Внедрение неравновесных плазмохимических процессов в основные технологические процессы является очень важной задачей и позволит во многих случаях кардинально решить и проблемы экологии.

Эффективное возбуждение колебательных уровней молекул происходит в плазме наносекундного электронного пучка, поэтому при конверсии фторидных соединений возможно проявление изотопического эффекта. Показано, что при конверсии гексафторида серы в плазме наносекундного электронного пучка реализуется изотопический эффект. Химико-термодинамическое моделирование [3] конверсии гексафторида серы удовлетворительно описывает состав конечных продуктов разложения SF_6 в плазме наносекундного электронного пучка.

Представлены результаты исследования разложения гексафторида серы в смеси с водородом и кислородом в плазме импульсного электронного пучка, формируемого ускорителем ТЭУ-500 (350...500 кВ, 60 нс, плотность тока 0,3...0,4 кА/см²). Приведены данные термодинамического моделирования конверсии смеси газов $SF_6+H_2+O_2$ в низкотемпературной плазме, и экспериментальные результаты изменения состава смеси газов после воздействия электронного пучка, измеренные масс-спектрометром.

Показано, что основное газофазное соединение, синтезируемое в плазме импульсного электронного пучка – дифторид-оксид серы. Выполнен изотопный анализ основного и осколочного ионов SOF_2 . Получено, что содержание изотопа серы S^{34} в дифторид-оксиде серы превышает его содержание в исходном гексафториде серы в $1,8 \pm 0,1$ раза. При разложении исходного гексафторида серы энергозатраты электронного пучка на диссоциацию одной молекулы SF_6 не превышали 2,1 эВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшунов Н.М., Гуденко С.В. О возможности разделения изотопов за счет неравновесного колебательного обмена в послеразрядной зоне // Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул: Сб. докл. 8-ой Всеросс. научн. конф. – М.: ЦНИИатоминформ, 2003. – С. 133–136.
2. Туманов Ю.Н. Низкотемпературная плазма и высокочастотные электромагнитные поля в процессах получения материалов для ядерной энергетики. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 279 с.
3. Трусов Б.Г. Программный комплекс TERRA для расчёта плазмохимических процессов // Матер. 3 Междунар. симп. по теоретической и прикладной плазмохимии. – Плес, 2002. – С. 217–218.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ВНУТРИ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА

Беспала Е.В., Титов Е.С.

Научный руководитель: проф. Мышкин В.Ф.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: bespala_evgeny@mail.ru

В современных условиях расширяется сфера применения изотопов. Поэтому актуальна задача разработки новых энергоэффективных способов сепарации изотопов. Это связано с высокой себестоимостью современной изотопной продукции и сложностью технологических операций. Для многих применений традиционные способы разделения (центрифужный, газодиффузионный, электромагнитный) не эффективны. Одной из актуальных задач атомной отрасли является выделения радиоактивного изотопа углерода ^{14}C из облученного ядерного графита уран-графитовых ядерных реакторов (ПУГР, РБМК).

Нами изучается процесс выделения радионуклида ^{14}C из облученного графита. Исследования проводятся на модельных смесях стабильных изотопов путем их плазмохимической сепарации в магнитном поле. Во внешнем магнитном поле спины неспаренных валентных электронов радикалов прецессируют. Характерные частоты парамагнитного резонанса для изотопных модификаций радикалов отличаются. Ранее нами была показана возможность увеличения концентрации изотопной модификации ^{13}CO с 1.1% до 1.7% в магнитном поле 0.2 Тл (или 1,1 Тл), прикладываемом на участок разрядного канала с заданным интервалом температур, в результате плазмохимического окисления в условиях недостатка кислорода [1]. Это показывает, что газофазные радикальные процессы в низкотемпературной плазме, находящейся в магнитном поле, также селективны по изотопам.

Однако в конечный эффект разделения могут вносить другие изотопные эффекты, не связанные с магнитными явлениями в смеси изотопов, например, термодиффузия. Для оценки влияния процесса термодиффузии необходимо знать распределение температурного поля внутри плазмохимического реактора. При этом предполагается, что источником низкотемпературной плазмы является высокочастотный факельный разряд (ВЧФ).

Поскольку ВЧФ является частным случаем емкостного разряда, то в качестве расчетной модели использовали электрическую цепь Неймана, описанную в работе [2]. Для упрощения вычислений пренебрегали неоднородностью газового разряда. Размеры факельного шнура подбирали исходя из экспериментальных данных. При этом считали, что в качестве плазмообразующего газа используется аргон, подающийся в плазмохимический реактор постоянной ширины при атмосферном давлении. Методом конечно-разностных элементов решали уравнение переноса для вычисления электронной концентрации и средней энергии заряженных частиц. Для определения газовой температуры ВЧФ совместно решали уравнение Навье-Стокса и уравнение конвективного теплопереноса. При этом значения вязкости, плотности, удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности газа получали из решения уравнения переноса. Термическое разрушение высоковольтного электрода и фазовые превращения в приэлектродных областях не учитывались.

По результатам расчета с помощью программного комплекса ANSYS получено распределение температуры внутри плазмохимического реактора при различных частотах и мощности питающего напряжения. Путем решения нестационарного уравнения переноса получено распределение величины газовой температуры по длине плазменного шнура. Приведены зависимости концентрация электронов и ионов по оси плазмохимического реактора. Результаты расчета согласуются с экспериментальными данными измерения газовой температуры с помощью зондов с различной температурой плавления [3] и измерений относительной интенсивности линий вращательных переходов различных молекул.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Myshkin V.F., Khan V.A., Plekhanov V.G., Izhoikin D.A. and Bepala E.V. Spin isotope separation under incomplete carbon oxidation in a low-temperature plasma in an external magnetic field // Russian Physical Journal, 2015. Vol. 57. №10. P.1442–1448.
2. Нейман М.С. Курс радиопередающих устройств. — М., 1965.
3. Ижойкин Д.А. Диссертация на соискание уч.ст. к.ф.-м.н., Томск: ТГУ, 2014.

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА ПРИ СПИНОВОЙ СЕПАРАЦИИ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА

Беспала Е.В.¹, Павлюк А.О.², Котляревский С.Г.²

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Мышкин В.Ф.

¹Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

²ЛСиЯФИ ТУ АО "ОДЦ УГР"

E-mail: bespala_evgeny@mail.ru

Современные тенденции развития атомной промышленности требуют поиска методов повышения энергоэффективности используемых технологий, например при получении стабильных изотопов. Это связано с тем, что традиционные методы разделения изотопов, как правило, требуют больших затрат и не оправдывают себя на интенсивно развивающемся рынке изотопов широкого применения. С другой стороны, актуальны исследования по разработке методов выделения радиоактивных изотопов, концентрирующихся в отходах реакторного производства. В этом случае применение каскадной технологии, не целесообразно, поскольку ведёт к увеличению объема радиоактивных отходов. Остро стоит задача извлечения ^{14}C из общей массы графита, используемого в уран-графитовых реакторах. Поэтому разработка новых эффективных способов сепарации изотопов является актуальной задачей.

Нами исследуется процесс разделения изотопов углерода в низкотемпературной неравновесной плазме. В низкотемпературной плазме значительно выше скорости протекания химических реакций, а неравновесность газоразрядной плазмы может существенно изменить направление физико-химических процессов. При высокой температуре также могут протекать химические реакции с высоким порогом энергии.

Радикальные процессы в низкотемпературной плазме, находящейся во внешнем магнитном поле, селективны по изотопам [1]. Это связано с тем, что во внешнем магнитном поле спины несвязанных валентных электронов радикалов прецессируют с характерными для каждого изотопа частотами. Путем подбора величины магнитного поля удастся создать преимущественные условия для целевого изотопа. Для повышения коэффициентов разделения необходимо создавать в плазменных системах не только заданные условия, но и их распределение по объему высокотемпературного плазменного потока. При этом целесообразно использовать методы и средства математического моделирования.

Одной из причин невысокого коэффициента разделения является неоптимальность газодинамического режима в плазмохимическом реакторе. Это ведёт к выравниванию изотопной концентрации из-за процессов обратного движения изотопов. В работе [1] описан цилиндрический проточный плазмохимический реактор для сепарации изотопов углерода между СО и сажей. Проведенные оценки показывают коэффициент разделения значительно меньше его максимально возможного значения из-за окисления дисперсной фазы на стенках. Эта проблема может быть решена путем формирования заданного распределения по радиусу скорости высокотемпературного потока. Необходимо локализовать плазменный поток вдоль оси реактора и ограничить проникновение плазменного потока к пристеночной области. При этом возможно разделение реагентов и продуктов плазменных процессов.

Для локализации плазменного потока по оси реактора можно использовать диафрагмы, ограничивающие движение газа в пристеночном слое. В работе представлены результаты расчёта газодинамики высокотемпературного плазменного потока. Рассматриваются плоские и конические диафрагмы, а также через диафрагмы с наклонными лопастями. Определены оптимальные размеры диафрагм с точки зрения скорости течения газа в осевой области плазмохимического реактора и возможности контакта плазмы со стенками. Показано, что использование конических диафрагм и диафрагм с наклонными лопастями приводит к резкому снижению скорости газа между ними. При этом скорость газа в пристеночной области между диафрагмами уменьшается в зависимости от диаметра входного отверстия. Это позволяет исключить возможность окисления дисперсной фазы, находящейся на стенках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Myshkin V.F., Khan V.A., Plekhanov V.G., Izhoikin D.A. and Bepala E.V. Spin isotope separation under incomplete carbon oxidation in a low-temperature plasma in an external magnetic field // Russian Physical Journal, 2015. Vol. 57. №10. P.1442–1448.

СЕПАРАЦИЯ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Ушаков И.А., Григорьев А.С., Бабаев Р.

Научный руководитель: Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: mamay2008@bk.ru

Низкотемпературная плазма находит разнообразное технологическое применение. Например, в металлургии используется для модификации поверхности материала, получения металлических порошков. В настоящее время актуальна задача по улучшению технологии сепарации изотопов.

Значительную долю в составе плазмы составляют радикалы. При воздействии внешнего магнитного поля на радикалы, находящиеся в плазменном потоке, наблюдается прецессия спинов валентных электронов. Отличие частот прецессии неспаренных электронов радикалов в магнитном поле, содержащих целевой и остальные изотопы, приводит к изменению изотопного состава продуктов реакции от изотопного состава исходного реагента.

Мы изучали влияние магнитного поля на процесс сепарации изотопов при неполном окислении углерода в плазменном канале дугового разряда. Схема стенда для проведения экспериментальных исследований приведена на рисунке 1. Использовали стальной (массивный) и графитовый (стержневой) электроды. Пары оксида железа, формирующиеся в результате испарения стального электрода, позволяют разделять остаточные изотопы углерода от образующегося угарного газа. При этом целевой изотоп может концентрироваться как в газовой фазе, так и в дисперсной.

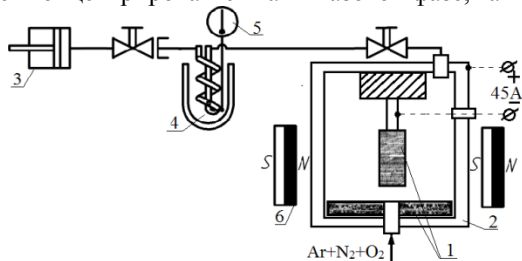


Рисунок 1 – Принципиальная схема плазмохимического стенда

1 – электроды, 2 – корпус, 3 – пробоотборник, 4 – теплообменник, 5 – термометр, 6 – магнит

Анализ изотопного состава газовых проб производили времяпролетным масс-спектрометром ЭМГ 20-9. Различие изотопного состава по сравнению с факельным разрядом обусловлено различием газовых температур, протяженностью высокотемпературного газа и рядом других параметров. Результаты изотопного распределения углерода в факельном и дуговом разрядах представлены на рисунке 2.

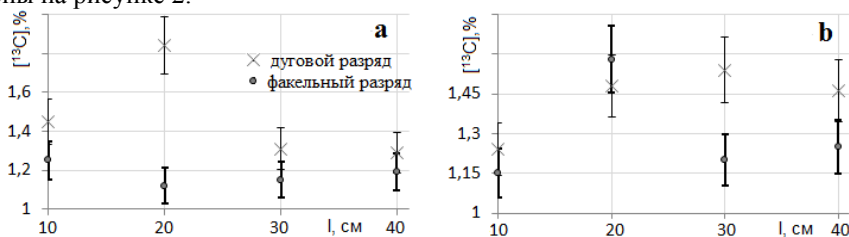


Рисунок 2 – Изотопное распределение углерода: внешнее поле: а – 0,2 Тл, б – 1,2 Тл.

Различие результатов в дуговом и факельном разряде обусловлено тем, что дуговой разряд имеет более высокую газовую температуру. Поэтому в дуговом разряде испаряется больше материала электрода и образуется большее количество дисперсной фазы. Дисперсная фаза позволяет отделять продукты реакции от исходных веществ, что увеличивает эффективность целевого процесса. Максимальное содержание ^{13}C в диоксиде углерода после прохождения дугового разряда не превышает 1,85% (1,1% природное содержание), после факельного разряда – 1,58%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Myshkin V.F., Izhoikin D.A., Ushakov I.A. et. al. Physical and Chemical Processes Research of Isotope Separation in Plasma under Magnetic Field // Advanced Materials Research. - 2014 - Vol. 880. - P. 128-133

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Борецкий Е.А., Видяев Д.Г., Верхорузов Д.Л.

Научный руководитель: Видяев Д.Г., д.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: eboretsky@mail.ru

Применение водорода в качестве альтернативы традиционному углеводородному топливу является важной задачей водородной энергетики. Наиболее сложной задачей в этом вопросе является создание систем, способных аккумулировать водород [1]. Среди существующих способов хранения водорода наиболее перспективным считается использование сорбционных систем, в которых атомы водорода находятся в связанном состоянии.

Различные модификации углерода обладают высокоразвитой поверхностью, что позволяет использовать их в качестве сорбентов, для создания водородоаккумулирующих систем. Для определения возможности использования таких систем проведена теоретическая оценка сорбционной емкости различными модификациями углерода.

В процессе теоретической оценки были смоделированы наиболее распространенные формы углерода. Моделирование структуры вещества проводилось с использованием программы HyperChem на основе методов квантовой химии и молекулярной динамики.

С целью создания систем обладающих повышенной сорбционной емкостью и способных накапливать водород [1], необходимо изучить процессы сорбции водорода материалами, такими как различные модификации углерода, а также металлами и неметаллами. Для решения поставленной задачи создана экспериментальная установка, схема которой приведена на рисунке 1.

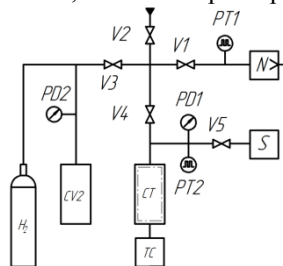


Рис. 1. Схема исследовательской установки для исследования сорбционных свойств

Представленная на рисунке установка состоит из следующих элементов: нагреваемый реактор *CT*, соединенный с контроллером температуры *TC* осуществляющим изменение скорости и диапазона нагрева. Форвакуумный насос *N* необходим для откачки системы до давлений ниже атмосферного. Манометрические *PD* и термопарные *PT* преобразователи осуществляют контроль давления в системе. В качестве источника водорода использована установка QL 500, обладающая производительностью 0,5 л/мин и давлением на выходе 0,4 МПа. Контроль водорода, выделяющегося в реакторе, осуществляется с помощью квадрупольного масс-спектрометра MC-7.

Установка обеспечивает выполнение следующих процессов: исследование сорбции водорода наноразмерными веществами с использованием метода программируемой термодесорбции и изотермическим методом; нагрев исследуемых образцов в диапазоне температур 20÷800°C; изменение скорости нагрева материалов интервале 0,1÷25°C/мин; изучение сорбции водорода в диапазоне давлений 0,133÷4·10⁵ Па; получение зависимости концентрации выделяющегося водорода с изменением температуры; получение зависимости изменения давления водорода от времени.

На основе экспериментальных данных можно произвести расчет и определение кинетических параметров сорбции водорода: энергии активации, скорости реакции, емкость системы и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Видяев Д.Г., Савостиков Д.В., Селянин А.С., Сидоркин А.С. О кинетике сорбции водорода наноструктурными композитными материалами // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т.56. № 11/3. – С. 280–283.

УСТОЙЧИВОСТЬ ПАРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ИОНОВ ПРИ УСКОРЕНИИ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ

Шаманин В.И.

Научный руководитель Ремнев Г.Е., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Исследования устойчивости систем взаимодействующих частиц имеют значение в физике пучков заряженных частиц, а также в масс-спектрометрии. Устойчивость пучка заряженных частиц определяет возможность его транспортировки.

В докладе представлены результаты аналитического изучения устойчивости пары взаимодействующих ионов. Для этого была поставлена и решена первая задача двух тел – описание движения центра масс двух взаимодействующих ионов. Взаимодействие – кулоновское, выражение для силы взаимодействия записывается в виде:

$$F = \frac{\alpha}{r^2} = \alpha u^2$$

Для плоского движения в полярных координатах уравнение движения принимает вид:

$$\frac{d^2 u}{d\theta^2} + u = \frac{\alpha \mu}{L^2},$$

где L – угловой момент системы, μ – приведенная масса, а θ – полярный угол.

Решение уравнения движения имеет вид:

$$u(\theta) = \frac{\alpha \mu}{L^2} + A \cos(\theta - \theta_0),$$

где A и θ_0 – константы, причем $A > 0$.

Решение показывает, что орбита представляет собой коническое сечение, то есть эллипс, гиперболу или параболу, в зависимости от того меньше A выражения $\frac{\alpha \mu}{L^2}$ больше или равно ему.

Таким образом, если $A < \frac{\alpha \mu}{L^2}$, система является устойчивой.

Полученные решения позволяют проводить оценки устойчивости пар ионов при их транспортировке в зависимости от их заряда, массы, начальной энергии и ориентации векторов скорости в начале процесса транспортировки.

ЛАЗЕРНЫЙ КОНТРОЛЬ ДИСПЕРСНОСТИ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ В ПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

Перекрестов Р.В.

Научный руководитель: Павел Кудрна

Charles University in Prague, Faculty of Mathematics and Physics,

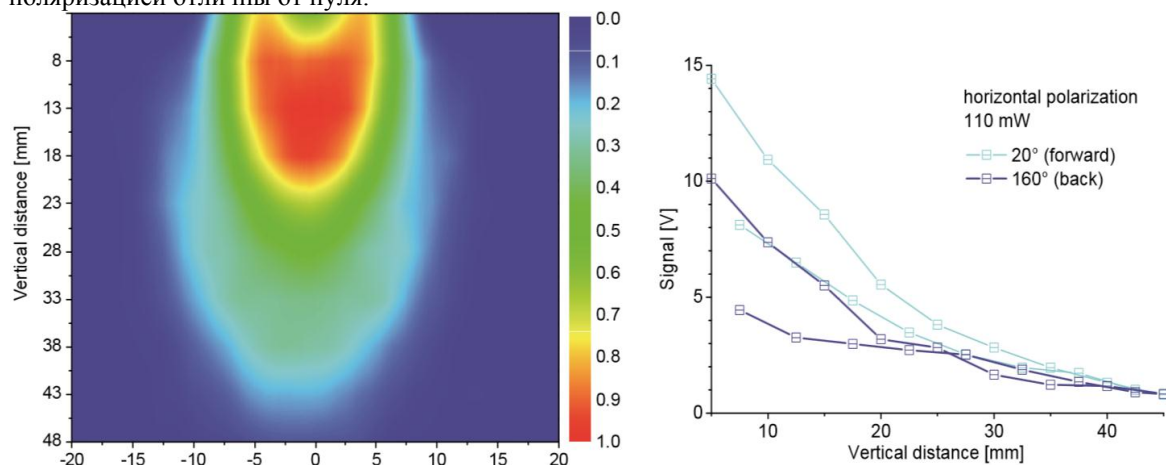
V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, Czech Republic

E-mail: perekrestov-r@mail.ru

Плазменные технологии находят широкое применение. Например, используются для разрезания листового материала, переработки или получения металлических порошков. Дисперсная фаза в низкотемпературной плазме может образоваться в результате протекания физико-химических процессов. При этом необходимы методы контроля параметров дисперсной фазы. Лазерные методы позволяют проводить измерения с минимальными возмущениями процессов, протекающих в низкотемпературной плазме.

Нами изучаются процессы, протекающие при плазменном напылении оксида титана из плазменного потока, формируемого с помощью полого катода при пониженном давлении.

Для контроля гранулометрического состава образующихся частиц использовали полупроводниковые лазеры, генерирующие поляризованное излучение на длинах волн 446 нм (ширина линии 10 нм), 661 нм. Процесс напыления осуществляли в вакуумной камере, находящейся под давлением менее 60 Па. Ввод излучения в вакуумную камеру и сбор потоков рассеянного излучения проводили через окна из оптического стекла. Два оптических окна располагали вдоль лучей зондирующих лазеров. Третье окно располагалось перпендикулярно лазерному лучу. Регистрировали потоки рассеянного излучения, с горизонтальной поляризацией, в направлении углов 20°, 90°, 160°. В направлении угла 90° регистрировали: рассеянный поток с вертикальной поляризацией, а также фотографировали в лучах рассеянного лазерного излучения. Картина, приведенная на рисунке слева получена из нескольких фрагментов высотой, равной ширине лазерного луча. По вертикальной координате показаны расстояние, отсчитываемое от среза сопла по ходу плазменного потока. Графики, приведенные на рисунке, показывают распределение, вдоль оси плазменного потока, мощности излучения с горизонтальной поляризацией, в направлениях 20° и 160°. Для рассеянного в направлении 90° потока, компоненты с вертикальной и горизонтальной поляризацией отличны от нуля.



Для определения гранулометрического состава частиц с помощью экспериментально регистрируемых данных использовали регуляризующие алгоритмы решения интегрального уравнения Фредгольма первого рода. Результаты расчетов, имеющие наименьшую невязку при определении функционала Тихонова, характеризуются широким распределением в диапазоне размеров 3-30 нм. При этом действительная часть комплексного показателя преломления, обеспечивающая минимум невязки, близка к 3,0 для всех экспериментальных данных. Лучшие решения соответствуют мнимой части показателя преломления в диапазоне 1,3÷4,0.

ВЫВОД. По результатам расчетов можно утверждать, что дисперсные частицы содержат как атомы, так оксид титана. Можно также предполагать наличие двух максимумов в распределении по размерам, отстоящих на значительную величину.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО ЭФФЕКТА ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА

Макаревич С.В.

Научный руководитель: проф. В.Ф. Мышкин

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

gos100@tpu.ru

Изотопы находят все большие перспективы применения во многих отраслях. Себестоимость современной изотопной продукции очень высока из-за использования незначительных изотопных эффектов. Поэтому для многих применений стоимость изотопной продукции, получаемой по традиционным способам разделения (центрифужный, газодиффузионный, электромагнитный), не приемлема. Поэтому актуальна задача разработки новых энергоэффективных способов получения изотопных материалов.

Известны изотопные эффекты при кристаллизации растворов. Мы выращивали кристаллы NaCl при периодическом воздействии постоянным магнитным полем на пересыщенный водный раствор и без дополнительного магнитного поля. На вновь формирующейся поверхности существует значительное количество не спаренных электронов. Поэтому постоянное магнитное поле может влиять на относительную скорость кристаллизации разных изотопов. Формирующиеся на стенках кюветы кристаллы NaCl высушивали, перетирали и изучали методом рентгеновской дифракции. Формы наиболее интенсивного дифракционного пика рентгеновского излучения от порошков NaCl, полученного при переменном воздействии магнитным полем приведена на рисунке 1.

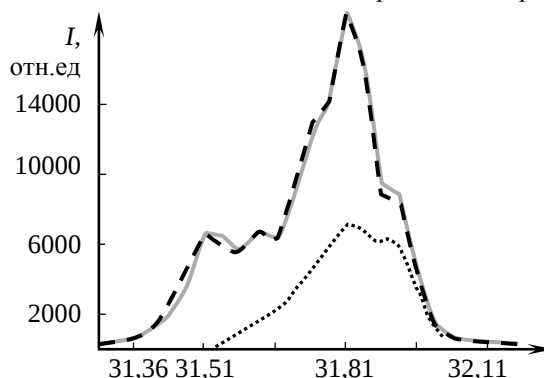


Рисунок 1 – Дифрактограмма от кристаллов NaCl: пунктир – эксперимент, сплошная – интерполяция, точки – равномерное распределение изотопов

Излучение используемого рентгеновского дифрактометра содержит линии $K\alpha_1$ и $K\alpha_2$ ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$). Поэтому все дифракционные рефлексы имеют двойные пики. Дифрактограммы для кристаллов, выращиваемых при воздействии магнитным полем, в значительной мере уширены. Наличие дополнительных максимумов связано с наличием слоев, в выращиваемых кристаллах, с разным содержанием изотопов хлора. Пунктирная кривая на рисунке 1 получена экспериментально, а сплошная – путем интерполяции с помощью набора 6 смещенных по углу дифракции дифракционных пиков, соответствующих кристаллам с равномерным распределением изотопов, с разными весовыми коэффициентами. В таблице приведены весовые коэффициенты. Рефлекс на угол дифракции $31,81^\circ$ соответствует кристаллам с равномерным распределением изотопов. В природной среде натрий моноизотопен, а хлор содержит два изотопа. Поэтому можно предполагать, что рефлекс на угол дифракции $31,57^\circ$ обусловлен кристаллами с более высоким содержанием изотопа ^{37}Cl , чем природное соединение. Количество таких кристалликов пропорционально весовому коэффициенту.

угол дифракции, град.	31,57	31,63	31,72	31,75	31,78	31,81
весовой коэффициент	0,160	0,040	0,075	0,138	0,032	0,394

ВЫВОД. Из результатов исследования видно, что изотопный эффект при кристаллизации зависит от наличия магнитного поля, а разделение изотопов возможно лишь при периодическом воздействии магнитным полем.

Секция 3

**ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ И ХРАНЕНИЯ ОТХОДОВ
ИЗОТОПНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Председатель: д.ф.-м.н., профессор В.Г. Бутов

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС НА БАЗЕ РЕАКТОРОВ СРЕДНЕЙ И БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Аусенов К.Ж.¹, Шаманин И.В.²

Научный руководитель: Шаманин И.В., д.ф.-м.н., профессор

¹Ассоциация «Ядерное общество Казахстана», 050020, Казахстан, г. Алматы, ул. Л. Чайкиной, 4

E-mail: kaussenov@mail.ru

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
shiva@tpu.ru

В работе «Методические положения анализа эффективности строительства АЭС в условиях становления ядерной энергетики государства» пришли к выводу о том, что предпочтительной площадкой строительства первой АЭС в Республике Казахстан является район вблизи города Курчатова Восточно-Казахстанской области. Согласно прогнозным данным АО «КазНИПИИТЭС «Энергия» в Восточном Казахстане к 2020-2030 годам будет наблюдаться дефицит в размере 600-900 МВт (эл.), это дает возможность рассмотреть строительство АЭС с одним энергоблоком большой или двух типовых энергоблоков средней мощности.

Нами рассмотрены энергоблоки большой мощности в 1000-1400 МВт (эл.), а также ядерные установки средней мощности в 300-600 МВт (эл.).

Для сравнения энергоблоков большой мощности были выбраны 3 типовые ядерные установки ВВЭР-1000, AP1000 и ACR-1000. А также установки средней мощности, такие как: CANDU-6, ВВЭР-640 и AP-600. Сравнение реакторов было по техническим, безопасностным и экономическим критериям. Среди них общая характеристика энергоблока, Системы останова реактора; Аварийное охлаждение активной зоны; Аварийное электроснабжение, Меры по предотвращению запроектной тяжелой аварии с плавлением активной зоны; Защищенность от внешних воздействий; Меры по уменьшению стоимости строительства, эксплуатации и снятия эксплуатации станции, экономические показатели.

В результате проведенных исследований по оценке эффективности строительства АЭС в Республике Казахстан была выбрана типовая реакторная установка для ядерной энергетики государства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батырбеков Г.А. Системный сравнительный анализ проектов энергетических реакторов АЭС с водой под давлением (PWR, ВВЭР) и кипящей (BWR). Современные технологии безопасности АЭС и ядерные топливные циклы разных стран. Алматы, 2013.
2. Отчет о выполнении мероприятий по подпрограмме: Проведение технико-экономических исследований в обоснование строительства атомных электростанций в Республике Казахстан. Республиканской бюджетной программы 049 «Подготовительная работа по развитию атомной энергетики». Основные результаты ТЭИ. Курчатова, 2009.
3. Токмачев Г.В. АЭС AP1000 компании Westinghouse, обладающая повышенной экономичностью и безопасностью. Атомная техника за рубежом. №5, 2006. УДК 621.039.58.
4. Advanced CANDU reactor (ACR) Safety design approach. Advanced nuclear plant design options to cope with external events.// IAEA-TECDOC-1487, 2006.
5. ACR-100. Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants.// IAEA-TECDOC-1624, 2009.
6. WWER-640/407. Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants.// IAEA-TECDOC-1624, 2009.
7. WWER-1000/392. Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants.// IAEA-TECDOC-1624, 2009.
8. Natural circulation in water cooled nuclear power plants Phenomena, models, and methodology for system reliability assessments// IAEA-TECDOC-1624, 2005.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДНО-СОЛЕВЫХ ОТХОДОВ В ВИДЕ АЗОТНОКИСЛЫХ ЭКСТРАКЦИОННЫХ РАФИНАТОВ

Павленко А.П., Каренгин А.Г.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: moroziknastia94@mail.ru

В настоящее время одной из проблем ядерной энергетики является обращение с радиационно-загрязненными отходами. За время многолетней работы предприятий ядерного топливного цикла накоплены и ежегодно образуются огромные объемы низко- и среднеактивных водно-солевых отходов (азотнокислые экстракционные рафинаты, аммиачно-хлоридные маточные растворы, аммиачные маточные растворы и др.), которые размещаются в бассейнах-хранилищах [1].

По действующей технологии, только образующиеся иловые отложения подвергают термообработке (выпаривание и прокалка) для уменьшения объема, а затем направляют на цементирование или битумизацию и далее на длительное хранение или захоронение. Снижение энергозатрат на термообработку таких отходов приведет к существенному удешевлению их обработки.

Плазменная обработка диспергированных водных растворов солей или суспензий гидроксидов металлов в плазме является одностадийным, гибким и наиболее универсальным методом получения как простых, так и сложных оксидов металлов многоцелевого назначения [2]. Основными достоинствами способа является: высокая скорость процесса; большое число каналов воздействия на физико-химические свойства целевых продуктов; возможность синтеза сложных оксидных соединений, а также высокая химическая активность получаемых целевых продуктов.

Однако плазменная обработка только водно-солевых отходов является дорогостоящим процессом из-за высоких удельных энергозатрат (2-4 МВт·ч/т). Как показано в работах [3,4], существенное снижение энергозатрат на процесс утилизации таких отходов может быть достигнуто при их плазменной обработке в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-органических композиций.

В работе представлены результаты моделирования процесса плазменной обработки в воздушной плазме водно-солевых отходов в виде азотнокислых экстракционных рафинатов - водно-хвостовых растворов с концентрацией урана менее 2 мг/л и содержанием следующих основных компонентов (г/л): HNO_3 – 180-200; Al – 25-30; Fe – 0,5-4,0; Ni – 0,1-1,0; Si – 0,5; F – 30-38; H_2O – остальное [5].

В результате расчетов определены оптимальные по составу модельные горючие композиции на основе спирта (аcetона), имеющие адиабатическую температуру горения не менее 1500 К и обеспечивающие их энергоэффективную плазменную обработку.

По результатам термодинамического моделирования процесса плазменной обработки таких горючих композиций на основе азотнокислых экстракционных рафинатов определены и рекомендованы для практической реализации оптимальные режимы их энергоэффективной обработки в воздушной плазме, обеспечивающие получение требуемых целевых продуктов в конденсированной фазе. Так, получение в составе твердых продуктов магнитного оксида железа обеспечит их совместное эффективное магнитное извлечение из образующихся водных суспензий после «мокрой» очистки отходящих газов.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии для эффективной плазменной обработки различных радиационно-загрязненных водно-солевых отходов в виде горючих композиций, а также других жидких радиоактивных отходов создаваемого российского замкнутого ядерного топливного цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Никифоров А.С., Кулиниченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
2. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: «Физматлит», 2003. – 759с.
3. Karengin A. G., Karengin A. A., Novoselov I. Y., Tundeshev N. V. Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling // Advanced Materials Research. – 2014. - Vol. 1040. - P. 433-436.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ В ВИДЕ АММИАЧНЫХ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ

Пешехонова А.С., Каренгин А.Г.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: anastasiya.peshehonova@mail.ru

За период работы предприятий ядерного топливного цикла накоплены, а также ежегодно образуются огромные объемы низко- и среднеактивных водно-солевых отходов (азотнокислые экстракционные рафинаты, аммиачно-хлоридные маточные растворы, аммиачные маточные растворы и др.), которые также размещают для длительного хранения в бассейнах различного назначения.

В первую очередь направляют на переработку образовавшиеся с течением времени иловые отложения, которые подвергают обезвоживанию, термообработке (выпаривание и прокалка) для уменьшения объема, а затем направляют на цементирование или битумизацию и далее на длительное хранение или захоронение [1-3]. Данная технология многостадийна и требует значительных трудо- и энергозатрат на обработку таких отходов.

Плазменная обработка диспергированных водных растворов солей или суспензий гидроксидов металлов является одностадийным, гибким и наиболее универсальным методом получения как простых, так и сложных оксидов металлов многоцелевого назначения [4]. Основными достоинствами способа является: высокая скорость процесса; большое число каналов воздействия на физико-химические свойства целевых продуктов; возможность синтеза сложных оксидных соединений, а также высокая химическая активность получаемых целевых продуктов.

Однако плазменная обработка только водно-солевых отходов является дорогостоящим процессом из-за высоких удельных энергозатрат (2-4 МВт·ч/т). Существенное снижение энергозатрат на процесс обработки таких отходов может быть достигнуто при их плазменной обработке в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК) [5,6].

В работе представлены результаты моделирования процесса обработки в воздушной плазме водно-солевых отходов в виде аммиачных маточных растворов, имеющих следующий характерный состав (г/л): NH_4NO_3 – 70-80; NH_4OH – 5; ПАВ – 0,2-0,3; U – менее 0,002; H_2O – остальное [1-3].

В результате расчетов показателей горючести различных по составу модельных водно-солеорганических композиций на основе спирта (ацетона) и аммиачных маточных растворов определены горючие ВСОК, имеющие адиабатическую температуру горения ≈ 1500 К, что обеспечивает их энергоэффективную обработку в воздушной плазме с получением дополнительной тепловой энергии до 1,5 МВт·ч/т с каждой тонны отходов.

По результатам термодинамического моделирования исследуемого процесса плазменной обработки таких отходов в виде горючих ВСОК определены и рекомендованы для практической реализации оптимальные режимы их энергоэффективной и экологически безопасной обработки в воздушной плазме.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии для эффективной плазменной обработки различных радиационно-загрязненных водно-солевых отходов в виде горючих композиций, а также других жидких радиоактивных отходов создаваемого российского замкнутого ядерного топливного цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Никифоров А.С., Кулиниченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
2. Егоров Н.Н., Поляков А.С. Проблемы образования РАО, их переработка и захоронение// Ядерная индустрия России / Гл. ред.: А.М. Петросьянц. М.: Энергоатомиздат, 2000.
3. Рябчиков Б.Е. Очистка жидких радиоактивных отходов. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 512 с.
4. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: «Физматлит», 2003. – 759с.
5. Karengin A. G., Karengin A. A., Novoselov I. Y., Tundeshev N. V. Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling // Advanced Materials Research. – 2014. - Vol. 1040. - P. 433-436.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ В ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЕ РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАСЕЙНОВ-ХРАНИЛИЩ В ВИДЕ ВОДНО-СОЛЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ

Шеховцова А.П., Орешкин Е.А., Новоселов И.Ю.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: egor_oresh@mail.ru

За время работы предприятий ядерного-топливного цикла накоплено и размещено в бассейнах-хранилищах огромное количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО), на дне которых за длительное хранение образовались иловые отложения (ИЛО), основными компонентами в которых являются вода ($60 \div 90\%$), железо ($3 \div 17\%$), кремний ($2,8 \div 8,5\%$), кальций ($0,2 \div 3,2\%$), магний ($1 \div 2,8\%$), натрий ($0,7 \div 1,9\%$), фосфор ($0,1 \div 0,9\%$) и др. [1,2].

Известны сорбционные, электрохимические, химические способы переработки и механическая классификация таких ИЛО [2]. Для стабилизации грунтов и илов, перевода их в устойчивые формы, препятствующие миграции радионуклидов из отходов, используются также различные способы высокотемпературной переработки ИЛО с получением керамических и стеклоподобных матриц [3]. Их общим недостатком является многостадийность и высокая стоимость переработки ИЛО.

Существенное снижение энерго- и трудозатрат на обработку водно-солевых отходов может быть достигнуто при их обработке в воздушной плазме в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК), имеющих адиабатическую температуру горения $T_{ад} \approx 1200^\circ\text{C}$ и обеспечивающих не только их энергоэффективную обработку в воздушной плазме, но и получение до $1,5 \text{ МВт} \cdot \text{ч/т}$ тепловой энергии с каждой тонны отходов [4,5].

В связи с этим представляет интерес использование плазмы для энергоэффективной обработки ИЛО в виде горючих ВСОК с получением твердых продуктов в виде простых и сложных оксидов металлов, включающих магнитный оксид железа. Это дает возможность после «мокрой» очистки отходящих газов использовать магнитное осаждение для извлечения твердых дисперсных продуктов и их последующей битумизации или цементирования.

По результатам проведенных расчетов рекомендованы для практической реализации процесса обработки ИЛО в воздушной плазме следующие режимы, обеспечивающие получение в составе твердых продуктов магнитного оксида железа:

- температура: $(1200 \pm 100) \text{ K}$;
- состав ВСОК: (60% Дизтопливо : 40% ИЛО);
- массовое отношение фаз: (45% Воздух : 55% ВОК).

Рекомендованные режимы подтверждены в ходе экспериментальных исследований процесса обработки модельных ИЛО в виде горючих ВСОК в воздушной плазме ВЧФ-разряда на имеющемся лабораторном плазменном стенде «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01 ($f_{\text{раб}} = 13,56 \text{ МГц}$, $P_{\text{кол}} = 60 \text{ кВт}$).

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании оборудования и технологии для энергоэффективной плазменной обработки различных радиационно-загрязненных водно-солевых отходов и иловых отложений бассейнов-хранилищ ЖРО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орешкин Е.А., Каренгин А.Г., Шаманин И.В. Моделирование и оптимизация процесса плазменной утилизации иловых отложений бассейнов-хранилищ жидких радиоактивных отходов // IV Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири: Сборник тезисов докладов, Томск, 23-25 октября 2013. – Томск: ТПУ, 2013. – С. 18.
2. Рябчиков Б.Е. Очистка жидких радиоактивных отходов. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 512 с.
3. Овчаренко Е.Г., Майзель И.Л., Карасев Б.В. Модифицированный вспученный перлит для локализации радионуклидов. Пром. и граждан. Строительство, 1994, №8, с.19-21.
4. Власов В.А., Каренгин А. Г., Каренгин А. А., Шахматова О.Д. Моделирование процесса плазменной утилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива бассейнов выдержки ТВЭЛов // Известия вузов. Физика. - 2012 - Т. 55 - №. 11/2. - С. 377-3.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ РАДИОАКТИВНОСТИ ПРИ ГИПОТЕТИЧЕСКОЙ АВАРИИ НА ИР ВВР-К С НИЗКООБОГАЩЕННЫМ ТОПЛИВОМ

Шаймерденов А.А.¹, Чекушина Л.В.¹, Шаманин И.В.²

Научный руководитель: Колточник С.Н.¹, к.ф.м.н.

¹ РГП «Институт Ядерной Физики», 050032, Казахстан, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1

² ФГБОУ ВПО «НИ Томский Политехнический Университет», 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2

E-mail: aashaimerdenov@gmail.com

Перед проведением ресурсных испытаний опытной партии ТВС с низкообогащенным топливом (обогащение по урану-235 – 19,7 %) в активной зоне исследовательского реактора ВВР-К были проведены расчеты по обоснованию безопасности проведения этих испытаний. В качестве теплотехнической аварии, связанной с полной или частичной потерей теплосъема активной зоны, рассмотрена полная блокировка прохода теплоносителя в самой энергонапряженной опытной ТВС инородным телом, случайно упавшем в активную зону реактора, работающего на мощности 6 МВт, в результате чего прекращается циркуляция теплоносителя и теплосъем в ТВС. В данной работе представлены результаты рассмотренной гипотетической радиологической аварии.

Постулируемая авария формулируется, как плавление опытной ТВС и выход из нее радиоактивных продуктов деления в атмосферу. Авария возникает на 21-й день испытаний, в конце первой кампании, когда, активность образующихся нуклидов будет максимальной, в соответствии с проведенными расчетами. Реактор работал непрерывно на мощности 6 МВт. Теплоноситель - обессоленная вода, направление движения теплоносителя сверху вниз. Сначала она поступает в верхний отдел ТВС, далее распределяется по зазорам между твэлами и ТВС. Поскольку теплосъем внутри ТВС прекратился, вода в зазорах ТВС может превратиться в пар, приводя к резкому снижению коэффициента теплопроводности и росту температур стенок твэлов, и опытная ТВС может расплавиться, что, в свою очередь, приведет к значительному снижению уровней мощности и запаса реактивности.

ПРОБЛЕМА НАКОПЛЕНИЯ ЯДЕР – ПОГЛОТИТЕЛЕЙ НЕЙТРОНОВ ПРИ ВТОРИЧНОМ И ТРЕТИЧНОМ РЕЦИКЛИРОВАНИИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Громов В.О.¹, Шаманин И.В.².

Научный руководитель: Шаманин И.В.², д. ф.-м. н., профессор

¹ФГУП «Горно-химический комбинат», г. Железногорск,
ул. Ленина, 53

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: Drak-08@mail.ru

Переработка ядерного топлива и возвращение в цикл делящихся материалов является одним из стратегических направлений деятельности Госкорпорации «Росатом». Реализация данного направления позволяет замкнуть ядерный топливный цикл (ЯТЦ). Замыкание ЯТЦ предполагает извлечение из отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) невыгоревших ядер исходного горючего и ядер вторичного горючего с целью возвращения в ядерный топливный цикл.

Выгоревшее в ядерном реакторе топливо по изотопному составу урана существенно отличается от природной смеси изотопов урана. В выгоревшей смеси помимо разницы в изотопной концентрации U-235 в значительных количествах присутствует нежелательный изотоп U-236. Также в результате ядерных превращений накапливается изотоп Pu-240. Данные изотопы не отделяются в процессе химической переработки ОЯТ, а их повышенное содержание создает трудности в использовании регенерированного ядерного топлива. В активной зоне реактора, наряду с делением ядер, происходят реакции радиационного захвата нейтронов и превращения нуклидов в неделящиеся ядра-поглотители нейтронов. Схема цепочек деления и ядерных превращений урана и плутония под действием тепловых нейтронов в активной зоне ядерного реактора, загруженного урановым топливом, показана в пособии [1]. Значительная часть U-235 не делится, а превращается в искусственный неделящийся радиоактивный изотоп U-236. Вероятность образования изотопа U-236 из U-235 соответствует отношению сечения радиационного захвата U-235 ($\sigma_{n,\gamma} \approx 99$ барн для тепловых нейтронов) к сумме сечений радиационного захвата и деления ($\sigma_f \approx 580$ барн). Таким образом, около 15% ядер U-235 остаются без энерговыработки. Вероятность превращения Pu-239 в неделящийся изотоп Pu-240 еще больше чем у U-235, и составляет примерно 26%. При глубине выгорания топлива 30 МВт·сут/кг и начальном обогащении по U-235 ~3,4% в реакторах на тепловых нейтронах образуется 0,35-0,4% U-236. При содержании U-236 в активной зоне 0,12% потеря достижимой глубины выгорания составит 1 МВт·сут/кг, при 0,4% U-236 – 2,5 МВт·сут/кг, при 1% U-236 – 5 МВт·сут/кг. Для компенсации отрицательного влияния U-236 и получения заданных энергетических характеристик необходимо повысить начальное обогащение топлива U-235, что увеличивает стоимость ЯТЦ.

В таблице 1 представлено изменение содержания неделящихся нуклидов после нескольких рециклов в реакторе ВВЭР-1000 (4-х летний топливный цикл) при глубине выгорания 49,2 ГВт·сут/т и выдержке 5 лет.

Таблица 1

Нуклид	ОЯТ UO ₂ , кг/т U	После 1-го рецикла, кг/т U	После 3-го рецикла, кг/т U	После 5-го рецикла, кг/т U
U ²³⁶	5,89	9,54	13,95	16,19
Pu ²⁴⁰	3,18	4,04	4,65	4,63

При многократных возвратах в топливный цикл регенерируемого ядерного топлива содержание U-236 возрастает, содержание Pu-240 стабилизируется. Из-за неравномерности нейтронного потока и несовершенства регулирования в активной зоне ядерного реактора имеет место значительная неравномерность энерговыделения по высоте и диаметру зоны и по отдельным ТВС и твэлам.

В связи с этим количество накапливаемых ядер-поглотителей нейтронов будет распределяться неравномерно по зоне реактора - в зависимости от расположения тепловыделяющих элементов, длительности облучения нейтронами, конструкции ТВС и выбранной решеткой размещения твэлов.

В данной работе представлены результаты теоретических исследований накопления ядер-поглотителей нейтронов в зависимости от кампании ядерного топлива.

Результаты проведенных исследований могут позволить заранее точно определять содержание нуклидов U-236 и Pu-240 после нескольких рециклов ядерного топлива.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОЧИСТКЕ ОБЛУЧЕННОГО ГРАФИТА НА ФГУП «ГХК»

Григорьев А.С.

Научный руководитель: проф. Мышкин В.Ф.

ФГУП «Горно-химический комбинат» Россия,

г. Железнодорожск Красноярского края, 662972, ул. Ленина, 53

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Alexsandr92_15@mail.ru

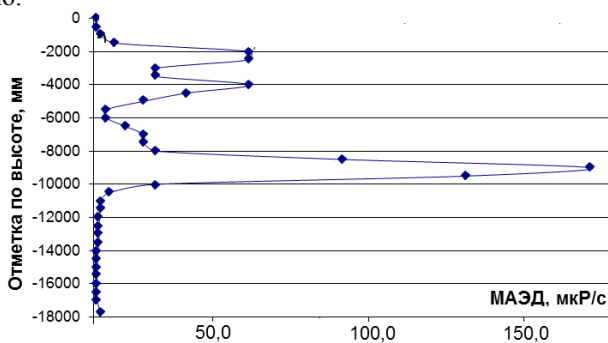
Графитовые втулки уран-графитовых реакторов, в которых в результате нейтронного облучения образовались радионуклиды, в том числе ^{14}C , относятся к радиоактивным отходам. Изотоп углерода ^{14}C является долгоживущим (период полураспада 5730 лет) и при окислении до $^{14}\text{CO}_2$, может включаться в естественный круговорот углерода. Поэтому изотоп ^{14}C представляет серьезную опасность для человека из-за способности усваиваться организмом. В связи с этим при выводе из эксплуатации уран-графитовых реакторов стоит задача переработки "просypeй" графита и графитовых втулок с надежной изоляцией изотопа углерода ^{14}C от окружающей среды.

Вывод из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР) ФГУП «ГХК» в настоящее время осуществляется по варианту захоронения на месте. Горный массив образует природный барьер безопасности - естественный внешний контайнмент, который в совокупности с существующими и дополнительно создаваемыми защитными барьерами способен обеспечить выполнение современных требований безопасности. Горный массив выполняет функцию основного конструкционного элемента подземного сооружения, способного воспринимать значительные внешние воздействия.

Демонтаж конструкций и строительных сооружений ПУГР, содержащих радиоактивные вещества, удаление всех радиоактивных отходов с площадки ПУГР, а также реабилитация площадки размещения ПУГР в целях ее дальнейшего использования представляются нецелесообразным из-за специфики расположения ПУГР. Это также связано с тем, что графитовая кладка и металлоконструкции за время эксплуатации ПУГР накапливают значительное количество радионуклидов. Основными радионуклидами, определяющими активность реактора на момент его остановки, являются ^3H , ^{14}C , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{36}Cl . Общая активность одного объекта составляет порядка 10^{16} Бк.

Разработанная концепция вывода из эксплуатации ПУГР ФГУП ГХК территориально ограничена размерами шахты реактора и прилегающих помещений. За пределами рассмотрения остались четыре приреакторных могильника, содержащих ТРО в виде облученных графитовых втулок, обрезков технологических каналов, инструмента.

Например, могильник 5М содержит $\approx 827 \text{ м}^3$ графитовых втулок. Удельная активность образцов графита, отобранных с поверхности могильника, составляет от 10 до 75 Бк/г. Измерения мощности амбиентного эквивалента дозы γ -излучения по высоте могильника показали наличие зон с высокой, более десятка раз, активностью.



1.
Рисунок 1 – Распределение МАЭД по высоте хранилища 5М

Поэтому конечный вариант вывода из эксплуатации ПУГР будет зависеть, в том числе, и от решения вопросов по обращению с облученным графитом. В докладе обсуждаются возможные варианты переработки облученного графита.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОБРАБОТКИ РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДНО-СОЛЕВЫХ ОТХОДОВ В ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ В ВИДЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ГОРЮЧИХ ВОДНО-СОЛЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ

Павленко А.П., Каренгин А.А., Каренгин А.Г.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: moroziknastia94@mail.ru

Одной из острых проблем ядерной энергетики является обращение с радиационно-загрязненными отходами. За период многолетней работы предприятий ЯТЦ накоплены и ежегодно образуются огромные объемы низкоконцентрированных водно-солевых отходов (азотнокислые экстракционные рафинаты, аммиачно-хлоридные маточные растворы, аммиачные маточные растворы и др.), которые размещаются в бассейнах-хранилищах [1,2].

Плазменная обработка диспергированных водных растворов солей или суспензий гидроксидов металлов в плазме является одностадийным, гибким и наиболее универсальным методом получения как простых, так и сложных оксидов металлов многоцелевого назначения [3]. Основными достоинствами способа является: высокая скорость процесса; большое число каналов воздействия на физико-химические свойства целевых продуктов; возможность синтеза сложных оксидных соединений, а также высокая химическая активность получаемых целевых продуктов. Однако плазменная обработка только водно-солевых растворов требует значительных удельных энергозатрат (2-4 МВт·ч/т). Существенное снижение энергозатрат на процесс может быть достигнуто при обработке таких отходов в воздушной плазме в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК), имеющих адиабатическую температуру горения не менее 1200 °С и обеспечивающих их энергоэффективную обработку [4,5].

На рисунке 1 представлена схема стадийности процесса обработки водно-солевых отходов в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных горючих ВСОК по длине реактора.

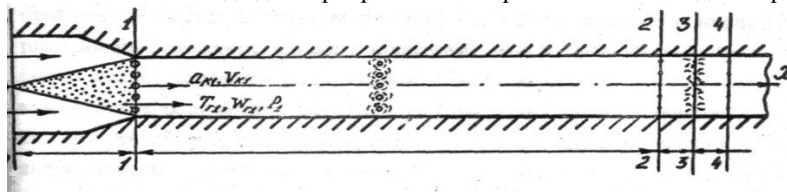


Рисунок 1 – Схема стадийности процесса обработки диспергированных горючих водно-солеорганических композиций в воздушно-плазменном потоке по длине реактора

В результате проведенного анализа процессов взаимодействия капель ВСОК с воздушно-плазменным потоком показано, что при температурах потока не менее 1500 К стадия испарения (1-2) растворителя (воды) является лимитирующей стадией всего процесса.

По результатам расчетов на разработанной математической модели установлены закономерности влияния начальных параметров воздушно-плазменного потока и капель на параметры двухфазного течения в реакторе.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии для энергоэффективной обработки различных радиационно-загрязненных водно-солевых отходов в воздушной плазме в виде горючих водно-солеорганических композиций, а также других жидких радиоактивных отходов создаваемого российского замкнутого ядерного топливного цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Егоров Н.Н., Поляков А.С. Проблемы образования РАО, их переработка и захоронение// Ядерная индустрия России / Гл. ред.: А.М. Петросьянц. М.: Энергоатомиздат, 2000.
2. Рябчиков Б.Е. Очистка жидких радиоактивных отходов. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 512 с.
3. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: «Физматлит», 2003. – 759с.
4. Karengin A. G., Karengin A. A., Podgornaya O. D., Shlotgauer E. E. Complex utilization of snf processing wastes in air plasma of high-frequency torch discharge // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - № Article number 012034. - P. 1-6.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЭКСТРАКТОВ ПЛАТИНОИДОВ ПОСЛЕ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ

Гостева И.В., Пироженов Т.Е., Каренгин А.Г.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: inesa-gosteva@mail.ru

Интерес к проблеме выделения металлов платиновой группы из отработавшего ядерного топлива АЭС появился еще в начале 60-х годов, но вследствие целого ряда причин, как технического, так и экономического характера, до настоящего времени ни один из предложенных методов не был использован в промышленном масштабе.

Истощение минеральных запасов платиновых металлов рано или поздно приведет к росту их стоимости до такой степени, что отработавшее ядерное топливо действительно может стать замещающим источником их промышленного производства. Развитию технологий, связанных с выделением металлов платиновой группы, будет способствовать рост мощностей атомной энергетики и, соответственно, накопление ОЯТ.

В связи с этим представляет интерес использование плазмы для энергоэффективной обработки водно-солевых реэкстрактов родия и палладия с целью извлечения из отходов переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и последующего использования.

Плазменная технология обработки водных растворов солей и гидроксидов металлов обладает многими важными особенностями [1]. Это возможность получения гомогенного распределения компонентов и заданного стехиометрического состава во всем объеме получаемых дисперсных продуктов (порошков), их чистота и возможность активно влиять на морфологию частиц, если это является важным. Однако эта технология требует значительных энергозатрат (2-4 МВт·ч/т).

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при плазменной обработке водно-солевых растворов в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК) [2,3].

В результате проведенных расчетов показателей горения различных по составу ВСОК на основе этилового спирта (ацетона) и водных реэкстрактов родия (палладия), обладающих высокой взаимной растворимостью, определены оптимальные составы горючих композиций, имеющие адиабатическую температуру горения не менее 1200 °С и обеспечивающих их энергоэффективную обработку в воздушной плазме. С использованием лицензионной программы «TERRA» определены равновесные составы газообразных и конденсированных продуктов плазменной обработки водных реэкстрактов родия и палладия в виде горючих композиций в широком диапазоне температур (300÷4000 К) и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (0,1÷0,9), а также произведена оценка энергозатрат на процесс их плазменной обработки.

С учетом полученных результатов рекомендованы следующие оптимальные режимы обработки водных реэкстрактов родия и палладия в воздушно-плазменном потоке:

- состав ВСОК-1: (70% Реэкстракт(Rh) : 30 % спирт);
- отношение фаз: (74 % Воздух : 26 % ВСОК-1);
- состав ВСОК-2: (70% Реэкстракт(Pd) : 30 % спирт);
- рабочая температура: (1500±100) К;
- Эуд = 15 МДж/кг.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании плазменной технологии обработки водных реэкстрактов родия и палладия, а также других металлов платиновой группы для их энергоэффективного извлечения из отходов переработки ОЯТ и последующего использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: «Физматлит», 2003. – 759с.
2. Гостева И. В., Каренгин А.Г. Оценка возможности плазменной переработки нитратно-нитритных растворов родия после переработки ОЯТ. // V Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, Томск, 22-24 октября 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 52.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЧФ-ПЛАЗМОТРОНОВ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДНО-СОЛЕВЫХ ОТХОДОВ

Пиунова К.Г., Каренгин А.А., Каренгин А.Г.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: piunova93@mail.ru

За период работы предприятий ядерного топливного цикла накоплены и ежегодно образуются огромные объемы радиационно-загрязненных водно-солевых отходов (азотнокислые экстракционные рафинаты, аммиачно-хлоридные маточные растворы, аммиачные маточные растворы и др.), которые размещаются в бассейнах-хранилищах [1]. Обработка таких отходов по действующей технологии многостадийна и требует значительных энерго- и трудозатрат.

Плазменная обработка только водно-солевых отходов является дорогостоящим процессом из-за высоких удельных энергозатрат (2-4 МВт·ч/т) [2]. Существенное снижение энергозатрат на процесс утилизации таких отходов может быть достигнуто при их плазменной обработке в воздушной плазме в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-солеорганических композиций [3,4].

На рисунке 1 приведена схема плазменного модуля на базе высокочастотного факельного (ВЧФ) плазмотрона, предназначенного для моделирования и исследования процессов обработки в воздушной плазме различных водно-солевых отходов в виде диспергированных водно- и солеорганических композиций (ВСОК).

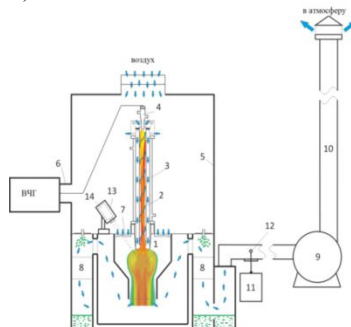


Рисунок 1- Плазменный стенд на базе ВЧФ-плазмотрона для обработки водно-солевых отходов:

1 – диспергатор, 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – медный электрод, 5 – корпус; 6 – коаксиальный вывод; 7 – импеллер реактора; 8 – узел «мокрой» очистки отходящих газов; 9 – вытяжной вентилятор (ВР 12-26, №4), 10 – воздухопровод, 11 – газоанализатор «Quintox» KM 9106, 12 – пробоотборник; 13 – защитный кожух пирометра, 14 – пирометр IPE 140/45.

В результате проведенных исследований определены газодинамические и теплофизические параметры воздушно-плазменного потока, генерируемого ВЧФ-плазмотроном, а также установлены закономерности их влияния на режимы плазменной обработки водно-солевых отходов в виде модельных диспергированных горючих ВСОК.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии энергоэффективной плазменной обработки различных радиационно-загрязненных водно-солевых отходов в виде диспергированных горючих водно-и солеорганических композиций, а также других жидких радиоактивных отходов создаваемого российского замкнутого ядерного топливного цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рябчиков Б.Е. Очистка жидких радиоактивных отходов. – М.: «ДеЛи принт», 2008. – 512 с.
2. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: «Физматлит», 2003. – 759 с.
3. Karengin A. G., Karengin A. A., Novoselov I. Y., Tundeshev N. V. Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling // Advanced Materials Research. – 2014. - Vol. 1040. - P. 433-436.
4. Karengin A. G., Karengin A. A., Podgornaya O. D., Shlotgauer E. E. Complex utilization of snf processing wastes in air plasma of high-frequency torch discharge // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - № Article number 012034. - P. 1-6.

МОДЕЛЬ РЕАКТОРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВОДНО-СОЛЕВЫХ ОТХОДОВ ЯТК В ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ В ВИДЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ГОРЮЧИХ ВОДНО-СОЛЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ

Новоселов И.Ю., Побережников А.Д., Каренгин А.Г.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: inovoselov@tpu.ru

Основой технологии переработки ОЯТ радиохимических заводов является ПУРЕКС-процесс, обеспечивающий высокую степень извлечения урана и плутония, их высокую очистку от продуктов деления [1]. При экстракционном извлечении урана и плутония применяют трибутилфосфат с использованием различных разбавителей (керосин, гексахлорбутadiен и др.), которые под действием облучения теряют свою эффективность и превращаются в горючие отходы переработки ОЯТ. Эти горючие отходы имеют значительную теплотворную способность и могут привести к снижению энергозатрат при совместной обработке горючих и негорючих отходов.

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при обработке таких отходов в воздушной плазме в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК), имеющих адиабатическую температуру горения не менее 1200°С [2]. На рисунке 1 представлена модель реактора плазменного модуля на базе ВЧФ-плазмотрона, предназначенного для обработки различных водно-солевых отходов в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных горючих ВСОК.

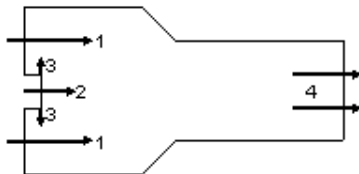


Рисунок 1 – Модель реактора плазменного модуля на базе ВЧФ-плазмотрона:

1 – воздушный поток; 2 – воздушно-плазменный поток; 3 – диспергатор горючих ВСОК; 4 – отходящие газы

Подача воздушного потока 1 в реактор осуществляется с различной скоростью $W_{вп}$ (10-100 м/с) через импеллер с переменным углом закрутки φ (0-60°). Генерируемая ВЧФ-плазмотроном воздушная плазменная струя 2 с различной температурой $T_{пс}$ (2000-4000 К) и скоростью $V_{пс}$ (5-20 м/с) вводится по оси в реактор. Расход ВСОК на входе в реактор изменяется в пределах $Q_{всок}$ (0,1-1,5 м³/ч). Диспергатор 3 преобразует горючие ВСОК в капли, имеющие различные начальные диаметр d_k (10-100 мкм), скорость V_k (1-10 м/с) и температуру T_k . (300-600 К). Образующиеся продукты в виде отходящих газов 4 выводятся из реактора.

При расчёте реактора использовался лицензионный программный комплекс ANSYS Fluent 6.3. Для построения геометрии и расчетной сетки модели реактора использовалась программа Gambit 2.4. Для расчёта реактора выбрана модель горения без предварительного смешения. Движение капель диспергированных ВСОК в реакторе рассчитывалось с помощью модели дискретных фаз. Обмен импульсом, теплотой, и массой между газом и каплями включался в расчет, чередуясь с расчётом траекторий капель и уравнений непрерывной газовой фазы.

По результатам проведенных расчетов определены и рекомендованы для практической реализации оптимальные режимы работы реактора, обеспечивающие эффективную обработку водно-солевых отходов в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных горючих ВСОК: $V_{вп} = 30$ м/с; $\varphi = 30^\circ$; $T_{пс} = 3000$ К; $V_{пс} = 20$ м/с; $T_k = 600$ К; $V_k = 3$ м/с; $Q_{всок} = 1,0$ м³/ч.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания оборудования и технологии плазменной обработки различных водно-солевых отходов в виде диспергированных горючих композиций, а также других жидких радиоактивных отходов создаваемого российского замкнутого ядерного топливного цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.
2. Karengin A. G., Karengin A. A., Podgornaya O. D., Shlotgauer E. E. Complex utilization of snf processing wastes in air plasma of high-frequency torch discharge // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - № Article number 012034. - P. 1-6.

Секция 4

**ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТОПОВ В ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ,
ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И
МЕДИЦИНЕ. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОТОПНО-
МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ.**

Председатель: д.т.н., доцент Д.Г. Видяев

КОЛЛИМАЦИЯ И ВЫВОД НЕЙТРОНОВ НА ГЭК-8 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т

Саванюк С.Н.

Научный руководитель: Шаманин И.В., д.ф.-м.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия,
г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: savvans@gmail.com

В настоящее время существует дефицит экспериментальных данных по протеканию процессов дефектообразования и медленной изотопной кинетики в материалах, подвергающихся действию проникающих излучений при температурах ниже 100 К.

Получение информации о закономерностях протекания процессов дефектообразования и изменения изотопного состава при низких температурах позволит создавать материалы, физические характеристики которых продлят срок службы изготовленных из них элементов конструкции и приборов, подвергающихся радиационным воздействиям, в частности – в условиях глубокого космоса.

Проведение экспериментов в космосе по изучению закономерностей радиационно-стимулированного дефектообразования является нецелесообразным по причине существенных финансовых затрат и отсутствия приборно-технологического оснащения.

Имитационные эксперименты предполагается проводить в Томском политехническом университете на исследовательском реакторе ИРТ-Т, один из горизонтальных экспериментальных каналов которого оборудован криостатом для изучения свойств материалов при облучении нейтронами с сопровождающим гамма-излучением при температурах ниже 100 К.

Пучки нейтронов, используемые для исследований в различных областях физики, должны обладать специальными свойствами, такими как высокая интенсивность, поляризация и фильтрация нейтронов от примеси гамма-квантов и быстрых нейтронов и т.д. Для формирования пучков нейтронов с заданными свойствами необходимы коллимация и применение нейтронной оптики.

В работе представлены результаты моделирования процессов, сопровождающих вывод из горизонтального экспериментального канала ГЭК-8 и коллимацию нейтронного пучка нейтронов на мишень, расположенную в криостате замкнутого цикла, обеспечивающего возможность облучения материалов и приборов при азотных и гелиевых температурах.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ В ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЕ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ УРАНА И ТОРИЯ ИЗ ВОДНО-СОЛЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ

Зубов В.В., Кадочников С.С., Каренгин А.Г.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: moroziknastia94@mail.ru

Значительную часть ядерной энергетики в XXI веке будут составлять электростанции с реакторами на тепловых нейтронах (РТН), которые необходимо обеспечить недорогим ядерным топливом на весь период эксплуатации. С учетом ограниченности ресурса урана-235 и пока не полностью решенных проблем лицензирования МОХ-топлива для использования в отечественных реакторах РТН, использование тория 232 в составе ядерного топлива для этих реакторов открывает новые перспективы. Применяемая технологическая схема получения гранулированного оксидного уран-ториевого топлива методом внешнего гелеобразования (золь-гель процесс) включает целый ряд стадий [1,2]: приготовление исходного раствора; приготовление рабочего раствора; диспергирование рабочего раствора в раствор аммиака и образование микросфер; промывка микросфер раствором аммиака; сушка микросфер; прокаливание микросфер; водородное восстановление микросфер для получения оксидной композиции «ThO₂-UO₂».

К недостаткам золь-гель процесса следует отнести: многостадийность; продолжительность; низкая производительность; большие затраты на химические реагенты; неоднородное распределение фаз в оксидной композиции «ThO₂-UO₂».

Плазменная технология получения оксидных композиций урана и тория из смесевых нитратных растворов обладает многими важными особенностями, выгодно отличающими ее от технологии, основанной на механическом смешении компонентов [3]. Это возможность получения гомогенного распределения компонентов и заданного стехиометрического состава во всем объеме порошка; чистота материала, возможность активно влиять на морфологию частиц, если это является важным. Однако и эта технология требует больших трудо- и энергозатрат.

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при плазменной обработке смесевых нитратных растворов в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК) [4].

В работе представлены результаты моделирования процесса получения оксидных композиций урана и тория в воздушной плазме из горючих водно-солеорганических композиций на основе нитратных растворов и этилового спирта (ацетона). Определены составы горючих композиций и режимы их обработки в воздушной плазме, обеспечивающие прямое и энергоэффективное получение оксидных композиций «UO₂-ThO₂» и «UO₂-ThO₂-C».

С учётом полученных результатов определены следующие оптимальные режимы плазменной обработки смесевых нитратных растворов урана и тория в воздушной плазме следующие оптимальные режимы для практической реализации процесса:

- ВСК-1 (0,8 % UO₂(NO₃)₂·6H₂O : 17,6 % Th(NO₃)₄·6H₂O : 0,2 % HNO₃ : 54,4 % H₂O : 27 % C₂H₆O);
- массовое отношение фаз (50 % Воздух : 50 % ВСК-1);
- температура (1500 ± 100) К.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии прямого получения в воздушной плазме из горючих водно-солеорганических композиций различных по составу оксидных уран-ториевых композиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

4. Туманов Ю. Н., Бутылкин Ю. П., Коробцев В. П., Бевзюк Ф. С., Грицюк В.Н., Батарее Г. А., Хохлов В. А., Галкин Н.П. Способ получения урансодержащих смесевых оксидов. — Авт. свидетельство СССР № 904393, 1976.
5. Toumanov I.N., Sigailo A. V. Plasma Synthesis of Disperse Oxide Materials from Disintegrated Solutions // Materials Science and Engineering. 1991. V. A140. P. 539-548.
6. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. — М.: «Физматлит», 2003. — 759с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ В ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЕ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ УРАНА И ПЛУТОНИЯ ИЗ ВОДНО-СОЛЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ

Тундешев Н.В., Лемешенко Т.И., Каренгин А.Г.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: tundeshev93@mail.ru

Госкорпорация «Росатом» первой в мире приступила к созданию российского замкнутого ядерного топливного цикла, который предусматривает выдержку и переработку ОЯТ, экстракционное извлечение плутония-239 и урана-238, производство на их основе регенерированного МОХ-топлива и его поставку на АЭС.

Основой технологии переработки ОЯТ радиохимических заводов является PUREX-процесс, обеспечивающий высокую степень извлечения урана и плутония [1]. Однако, применение раздельного химического осаждения, получения оксидов урана и плутония, их последующего механического смешения не всегда обеспечивает требуемый дисперсный состав и гомогенное распределение фаз в получаемых смешанных оксидных композициях $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$, что приводит к проблемам во время эксплуатации ядерного топлива.

Получение оксидных композиций $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ золь-гель процессом включает три основные стадии: приготовление золь, удаление воды с образованием твердых частиц геля, прокаливание. После прокаливания в инертной атмосфере гель представляет собой микросферы диаметром 50-600 мкм, при этом отклонение концентрации плутония по составу составляет $\pm 1,5\%$ [2].

Общими недостатками применяемых технологий (в том числе золь-гель процесса) получения смешанных оксидных композиций $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ являются многостадийность, высокая стоимость переработки, необходимость использования большого количества химических реагентов, неэкспрессность.

Применение плазменной технологии позволяет получать в одну стадию из смесевых нитратных водно-солевых растворов оксидные композиции $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ заданного стехиометрического состава с гомогенным распределением фаз во всем объеме порошка и активно влиять на морфологию частиц, но её применение также требует значительных энергозатрат [3].

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при плазменной переработке таких растворов в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК) [4].

В работе представлены результаты расчетов показателей горючести модельных ВСОК на основе этилового спирта (ацетона), обладающих высокой взаимной растворимостью, и определены составы горючих ВСОК, обеспечивающие их энергоэффективную переработку в воздушной плазме.

По результатам термодинамического моделирования процесса плазменной обработки смесевых нитратных растворов в виде горючих ВСОК определены оптимальные режимы для их энергоэффективной переработки в воздушной плазме. Для расчётов использовалась лицензионная программа «TERRA».

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазменного получения смесевых оксидных композиций $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ для МОХ-топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ОЯТ./ Электронный ресурс.// Режим доступа: <http://nauka.relis.ru/06/0111/06111040.PDF>.
2. Котельников Р.Б., Башлыков С.Н., Каштанов А.И., Меньшикова Т.С.// Высокотемпературное ядерное топливо.// Изд. 2-е. М.: Атомиздат, 1978, – 432 с.
3. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: «Физматлит», 2003. – 760 с.
4. ОЯТ./ Электронный ресурс.// Режим доступа: <http://nauka.relis.ru/06/0111/06111040.PDF>.
5. Karengin A. G., Karengin A. A., Novoselov I. Y., Tundeshev N. V. Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling // Advanced Materials Research. – 2014. - Vol. 1040. - P. 433-436.
6. Karengin A. G., Karengin A. A., Podgornaya O. D., Shlotgauer E. E. Complex utilization of snf processing wastes in air plasma of high-frequency torch discharge // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - № Article number 012034. - P. 1-6.

ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ВЕЛИЧИН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ РАДОНООПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЧЕШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Шилова К.О., Ключникова Ю.О.

Научный руководитель: Рыжакова Н.К., к.ф.-м.н, доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30

E-mail: kos1@tpu.ru

Известно, что на радон и продукты его распада приходится более половины дозы, получаемой человеком от всех природных источников радиации [1], поэтому перед проведением строительных работ проводят соответствующие изыскания [2]. Однако при проведении таких работ возникают проблемы как с выбором критериев радоноопасности, так и с достоверностью получаемых результатов [3,4,5]. В Российской Федерации критерием радоноопасности территории является измеряемая с помощью накопительных камер величина плотности потока радона (ППР). В Чешской Республике при оценке радоноопасности территорий проводятся измерения поровой активности радона и воздухопроницаемости грунтов на глубине 0.8 м, на основе которых находят радоновый индекс. Основным способом измерения ППР в Российской Федерации является метод с использованием накопительных камер, установленных на исследуемую поверхность грунтов. Однако, используемые методики и приборы не позволяют достоверно определить среднее количество радона, выходящего на поверхность грунта [3,4]. Поэтому в данной работе использован запатентованный в Томском политехническом университете метод «двух глубин», основанный на измерении поровой активности радона на двух, отличающихся в два раза, глубинах [6]. Измерения проводили на двух площадках г.Томска, на двух глубинах – 0.4 м и 0.8 м, в летний период 2014 года и весенне-летний период 2015года; всего проведено 110 измерений поровой активности. Значения ППР находятся в интервалах $0.04...8.8 \text{ мБк}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-3}$, среднее значение, дисперсия и коэффициент вариации составляют соответственно $1.2 \text{ мБк}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-3}$, $0.24 \text{ мБк}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-3}$ и 150%. В соответствии с нормативными документами исследованные территории не являются радоноопасными.

Измерения в Чешской Республике проведены в летний период 2014 г. на площадке №828 в Kamenná U Příbramě; всего было проведено 60 измерений поровой активности радона и 30 измерений воздухопроницаемости. Значения поровой активности находятся в интервале $77...377 \text{ кБк}\cdot\text{с}^{-1}$ и в среднем составляют $153 \text{ кБк}\cdot\text{с}^{-1}$, дисперсия и коэффициент вариации соответственно равны $12.3 \text{ кБк}\cdot\text{с}^{-1}$, 44%. Значения воздухопроницаемости лежат в интервале $0.0052...18 \text{ м}^2\cdot\text{с}^{-1}$, среднее значение и дисперсия для этой величины составляют $6.6 \text{ м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ и $7.47 \text{ м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ соответственно; коэффициент вариации для проницаемости равен 113%. На основе данных измерений проведен расчет радонового потенциала, в соответствии с которым исследованная территория относится к средней категории радоноопасности.

Анализ результатов измерений показал, что коэффициенты вариации ППР и воздухопроницаемости грунта по порядку величины совпадают. Следовательно, на количество радона, выходящего на поверхность грунта, основное влияние оказывает воздухопроницаемость грунта. В связи с малой достоверностью результатов измерения ППР методом накопительных камер авторы предлагают при оценке радоноопасности территорий проводить измерения воздухопроницаемости грунтов и определять установившиеся на больших глубинах значения поровой активности методом «двух глубин» [5], который также запатентован в ТПУ [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации: Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации генеральной Ассамблеи за 1988г, с приложениями: В 2-х т. – М.:Мир,1992.
2. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства «Инженерно-экологические изыскания строительства» СП 11-102-97. М.: Госстрой России, 1997.
3. Time dependence of radon exhalation rates. Annu. Rept., 1990. Kernfys. Vereneller Inst. Groningen. 1991. С. 78 – 79.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗОТОПНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ИРТ-Т ТПУ

Зукау В.В., Кабанов Д.В., Чибисов Е.В.

Научный руководитель: Шаманин И.В., д.ф. - м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: zukai@tpu.ru

В последние годы во всем мире отмечается значительное возрастание интереса к использованию радионуклидной продукции, применяемой в различных областях науки и техники. Спрос на изотопную продукцию увеличивается в среднем на 10-15% ежегодно. Однако для наработки некоторых изотопов требуемой удельной активности на среднеточных реакторах необходимо учитывать различные параметры, такие как, состав мишени, ее геометрическую конфигурацию, время облучения, спектр нейтронов и т.д.

На базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ проводятся исследования по наработке таких изотопов, как: вольфрам-188, рений-188, лютеций-177, иридий-192, фосфор-32,33, никель-63.

Так, например отличительной особенностью по наработке изотопов: вольфрам-188, иридий-192, никель-63 является большая масса мишени, вследствие чего необходимо учитывать физико-химические свойства материала стартовой мишени, формирование определенной ее геометрической конфигурации (например, в виде полого цилиндра). Облучение таких сборок, как правило, осуществляют в экспериментальных каналах большого диаметра с высоким потоком нейтронов ($1.5-1.7 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$), кроме того из-за радиационного разогрева необходимо охлаждать мишень, следовательно необходимо обеспечить ее герметичность.

Наработку радионуклида никель-63 осуществляют по реакции $^{62}\text{Ni}(n,\gamma)^{63}\text{Ni}$ из металлической мишени никель-62 с обогащением более 99 %. Масса мишени составляет порядка 170 г. Мишень устанавливают непосредственно в центре бериллиевого блока, расположенного в центре активной зоны реактора ИРТ-Т. Для наработки 280-320 Ки никеля-63 время облучения составляет порядка 3500-4000 часов.

Иридий-192 нарабатывается по ядерной реакции $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)^{192}\text{Ir}$ путем облучения сборки, содержащей 900-1000 дисков металлического иридия общей массой порядка 14 г. Нарбатываемая удельная активность иридия-192 составляет более 500 Ки/г при облучении мишени в «мокром» центральном канале реактора ИРТ-Т.

Пара вольфрам-188/рений-188 является генераторной. Вольфрам-188 нарабатывают по реакции второго порядка захвата нейтронов стартовым изотопом вольфрам-186 природного изотопного состава (содержание вольфрам-186 28,64 %). Использование в качестве стартовой мишени дешевого природного сырья влечет за собой применение концентрирующих технологий для выделения дочернего радионуклида рения-188, к которым, прежде всего, относится сублимационная. Время использования генераторной пары вольфрам-188/рений-188 зависит от наработанной активности вольфрам-188 и составляет от одного месяца до полугода.

Особенность получения радионуклида фосфор-32,33 связана с облучением стартовой мишени элементарной серы нейтронами с энергией более 3,2 МэВ, а также с последующим выделением изотопов фосфора, их очисткой и синтезом меченых соединений. Для наработки данных изотопов изготовлен и установлен в шести-трубную ТВС (ИРТ-3М) новый «мокрый» вертикальный экспериментальный канал, что позволяет нарабатывать радионуклид фосфор-32 до 2 Ки ежемесячно. Выделение и очистку целевых радионуклидов фосфора проводят на специализированной сублимационной установке, размещенной в «тяжелом» боксе комплексной установки по производству и расфасовке радионуклидной продукции.

Для наработки радионуклида лютеций-177 высокой удельной активности необходимо использовать в качестве мишени сырье с обогащением по изотопу лютеций-176 более 82%. Учитывая высокое сечение захвата нейтронов в ядерной реакции $^{176}\text{Lu}(n,\gamma)^{177}\text{Lu}$, при облучении используют навески массой 1.0 – 1.5 мг по лютецию, а вещество мишени, для снижения процесса самопоглощения нейтронов материнским изотопом, максимально распределяют по поверхности ампулы. Нарбатываемая удельная активность лютеция-177 составляет не менее 25 Ки/мг при облучении в центральном канале, установленном в бериллиевой ловушке реактора ИРТ-Т.

Таким образом, имеющаяся материально-техническая база и наличие квалифицированного персонала позволяет организовать на базе реактора ИРТ-Т производство радиоизотопов технического и медико-биологического назначения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ КОНТАКТЕ ВЕЩЕСТВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Семченко И.С., Бабаев Р. Г.

Научный руководитель: проф. Мышкин В.Ф.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: semchenko.igor@mail.ru

Разработка и применение материалов с заданным изотопным перспективно для энергетики, материаловедения, микроэлектроники, медицины. Во всех промышленно используемых методах разделения изотопов применяются незначительные изотопные эффекты. Поэтому для многих применений стоимость изотопов, получаемых по таким способам разделения, как центрифужный, газодиффузионный, электромагнитный, не приемлема. Поэтому актуальна задача изучения изотопных эффектов в различных физических полях.

В магнитном поле в результате эффекта Зеемана происходит расщепление линий колебательного спектра молекулы [1]. В работе [2] на примере амальгамы лития было показано теоретически на возможность влияния магнитного поля на величину β -фактора, что приводит к изменению однократного коэффициента разделения α .

Настоящая работа направлена на экспериментальное изучение возможности изменения изотопного эффекта при смешивании двух веществ во внешнем постоянном магнитном поле. Предполагали, что тепловой эффект смешивания веществ пропорционален величине β -фактора. Изменение температуры регистрировали с помощью термометра Бекмана. Рабочая кювета и вспомогательные устройства располагали в теплоизоляционном корпусе. Также контролировали температуру окружающей среды. Тепловой эффект процесса смешивания двух соединений считали пропорциональной максимуму изменения температуры, регистрируемого через каждые 2 минуты. Используемые соли предварительно выдерживали в течении одной сутки при температуре 70С в сушильном шкафу.

Экспериментальные данные изменения температуры при растворении NaCl в дистилляте показывают, что тепловой эффект не зависит от наличия внешнего магнитного поля (0,2 или 1,1 Тл). При этом регистрируемое изменение температуры раствора зависит от температуры окружающей среды. Измерения в магнитном поле 0,2 Тл и без поля проводили при температуре $16\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (наблюдается охлаждение на $0,28\pm 0,005^{\circ}\text{C}$), а в поле 1,1 Тл и контрольные – при $17\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (охлаждение на $0,45\pm 0,005^{\circ}\text{C}$).

Экспериментальные данные изменения температуры при растворении KCl в дистилляте показывают, что на тепловой эффект влияет магнитное поле 0,2 Тл. Охлаждение температуры при растворении в поле 0,2 Тл составляет $0,82\pm 0,005^{\circ}\text{C}$, без поля - $0,90\pm 0,005^{\circ}\text{C}$ (при температуре среды $16\pm 0,5^{\circ}\text{C}$). При температуре среды $17\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ без магнитного поля раствор охлаждался на $1,13\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. При температуре среды $17\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в магнитном поле 0,2 Тл растворение KCl в дистилляте сопровождается охлаждением раствора на $1,03\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Как в поле 1,1 Тл, так и без поля, раствор охлаждался на $1,13\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Данные изменения температуры при растворении CuSO_4 в дистилляте показывают, что при температуре $17\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ магнитное поле 1,1 Тл незначительно изменяет тепловой эффект растворения: охлаждение без поля составляет $0,14\pm 0,005^{\circ}\text{C}$, а в магнитном поле - $0,16\pm 0,005^{\circ}\text{C}$.

Данные по регистрации изменения температуры при растворении солей NaCl, KCl, CuSO_4 в дистилляте позволяют предположить схожий характер изменения термодинамических свойств этих солей и воды при одновременном действии на них постоянным магнитным полем.

Экспериментальные данные изменения температуры при разложении амальгамы натрия дистиллятом показывают, что тепловой эффект зависит от наличия внешнего магнитного поля (без поля и 0,2 Тл). Измерения в магнитном поле 0,2 Тл и без поля проводили при температуре $19\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (без поля наблюдается охлаждение на $0,19\pm 0,005^{\circ}\text{C}$, а в поле 0,2 Тл – охлаждению на $0,45\pm 0,005^{\circ}\text{C}$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ионин А. А. и др. “Нелинейное Зеемановское расщепление колебательно-вращательных линий спектра поглощения молекул NO в сильном магнитном поле” Препринт №18 (М.: ФИАН РАН, 2009)
2. Нейман В. А, Семченко И. С., в сб. Изотопы: технологии, материалы и применение: Матер. Межд. научн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (Томск: Изд-во ТПУ, 2014) – С. 66-67

ОСОБЕННОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РТУТИ ИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ШЛАМОВ

Лемякин А.Э., Видяев Д.Г.

Научный руководитель: Видяев Д.Г., д.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: nekapb@sibmail.com

В процессе получения электролизом на ртутном растворе гидроксида лития-7 моногидрата [1], применяемого в качестве добавки в теплоноситель первого контура реакторов типа PWR для корректировки водно-химического режима, происходят потери ртути ведущие к образованию ртутьсодержащих производственных шламов. Данные отходы нуждаются в переработки для извлечения и последующего возврата ртути в технологический процесс. В связи с этим, был проведен ряд испытаний гравитационного и центробежного способов извлечения жидкой ртути из промышленных отходов, результаты которых представлены в данной работе.

Для концентрирования и извлечения ртути гравитационным и центробежным способами была разработана экспериментальная установка, в которой использовалось следующее оборудование: гидроциклон с ртутным затвором, в котором происходит гравитационное разделение оборотов путем распульковки, и концентратор центробежного типа, где осуществляется выделение ртути из пульпы за счет действия центробежных сил.

Анализ эффективности вышеуказанных способов извлечения проводился по степени извлечения и составу примесей исходной и остаточной проб.

На основе результатов проведенных испытаний установили, что метод центробежного отделения эффективно работает на шламах с низким содержанием ртути (менее 5%). При переработке производственных шламов с более высоким содержанием металлической ртути эффективным является метод гравитационного разделения путем гидроциклонной распульковки, в то время как центробежный метод не справляется с повышенной нагрузкой по ртути.

Полученные экспериментальные данные позволили сделать вывод о необходимости внедрения универсальной технологической схемы извлечения, включающей в себя комбинацию рассмотренных способов для переработки производственных отходов с любым содержанием ртути. Схема разработанной установки приведена на рисунке.

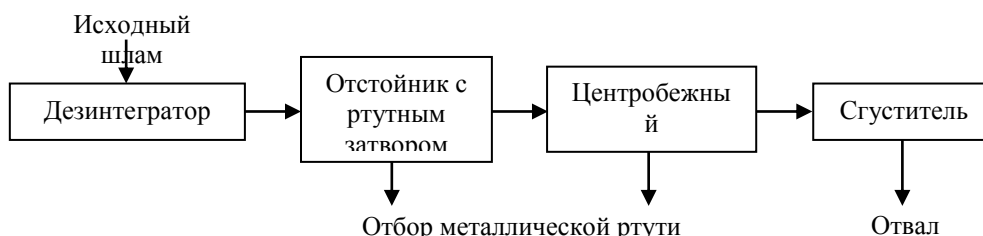


Рисунок. Схема установки для извлечения ртути из производственных шламов

Принцип работы установки заключается в следующем: из контейнера ртутьсодержащий шлам загружается в дезинтегратор, где происходит его распульковка. Образовавшаяся пульпа направляется в бак с ртутным затвором, где она отстаивается и из нее осажается и периодически сливается металлическая ртуть. Из отстойника пульпа поступает в концентратор, где происходит тонкая отбивка остаточной металлической ртути. После центробежного извлечения обедненная пульпа подается в сгуститель, из которого отходы в виде сухих и влажных шламов загружаются в герметичный контейнер. Используемая в схеме вода зациклена в контур и фильтруется на НУТЧ-фильтре и фильтрах тонкой очистки.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработана экспериментальная установка, позволяющая эффективно перерабатывать производственные шламы с различным содержанием ртути.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИТИЯ ДЛЯ НЕЙТРОН-ЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ

Тюделеков Е.А.

Научный руководитель: Видяев Д.Г., д.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tyudelekov_evgenii@mail.ru

Здоровью человека всегда уделяли огромное внимание. В последнее время отмечается высокий рост числа онкологических заболеваний. Так в 2013 году в России было выявлено 535887 новых случаев злокачественных новообразований (54,2% у женщин, 45,8% у мужчин), что на 15,0% больше по сравнению с 2003 годом [1], поэтому исследования, направленные на диагностику и лечение такого рода заболеваний, являются актуальными.

Существуют следующие основные методы лечения онкологических заболеваний: хирургический, лучевой и химиотерапевтический [2]. Среди указанных методов особое внимание заслуживает лучевой, и в частности нейтронно-захватную терапия (НЗТ), так как ее реализация и развитие оправданы возможностью селективного поражения раковых клеток и сохранения здоровых клеток в области опухоли при минимальной радиационной и химической травматичности организма пациента в целом.

На данный момент в нейтронно-захватной терапии основным используемым элементом является ^{10}B , разрабатываются аппараты и оборудования для его применения. Однако ведутся поиски и других веществ, которые возможно использовать в НЗТ. В данной работе нами приведены результаты исследований по целесообразности использования легкого изотопа лития – ^6Li для рассматриваемого метода. На основе анализа имеющихся литературных данных, в частности [3], определены основные показатели проведения процесса НЗТ с использованием ^6Li . Значения найденных параметров для НЗТ с препаратами на основе ^6Li приведены в таблице. Здесь же для сравнения приведены величины тех же параметров для процесса НЗТ с ^{10}B -содержащими препаратами.

Таблица. Сравнение характеристик инвазивной НЗТ при накоплении в опухоли ^6Li - и ^{10}B -содержащих препаратов

Биологическая ткань с ^6Li -содержащим препаратом $K_{\text{Li}} = 73,7 \text{ ppm}$	Биологическая ткань с ^{10}B -содержащим препаратом $K_{\text{B}} = 30 \text{ ppm}$
$m_{\text{эф}} = 20 \text{ г}; S_{\text{пуч}} = 0,581 \text{ см}^2$	$m_{\text{эф}} = 20 \text{ г}; S_{\text{пуч}} = 0,581 \text{ см}^2$
$\vartheta_{\text{H}}^{\text{реак}} = 0,69;$ $\vartheta_{\text{N}}^{\text{реак}} = 0,07;$ $\vartheta_{\text{Li}}^{\text{реак}} = 0,24$	$\vartheta_{\text{H}}^{\text{реак}} = 0,69;$ $\vartheta_{\text{N}}^{\text{реак}} = 0,07;$ $\vartheta_{\text{B}}^{\text{реак}} = 0,24$
$E_{\text{выд}}^{\text{Li}} = 2732 \text{ кэВ}$	$E_{\text{выд}}^{\text{B}} = 2139 \text{ кэВ}$
$E_{\text{погл}}^{\text{Li}} = 1267 \text{ кэВ}$	$E_{\text{погл}}^{\text{B}} = 673 \text{ кэВ}$
$G_{\text{Li}} = 1,2$	$G_{\text{B}} = 2,2$
$\phi_{\text{тепл}} = 1,4 * 10^9 \text{ см}^{-2} * \text{с}^{-1};$ $K = 8,5 * 10^{-12} \text{ Гр} * \text{см}^2$	$\phi_{\text{тепл}} = 1,5 * 10^9 \text{ см}^{-2} * \text{с}^{-1};$ $K = 7,7 * 10^{-12} \text{ Гр} * \text{см}^2$
$N = 62; N_{\text{H}} = 43; N_{\text{N}} = 4,1;$ $N_{\text{Li}} = 15$	$N = 117; N_{\text{H}} = 81; N_{\text{N}} = 7,7;$ $N_{\text{B}} = 28$

Обозначения: $K_{\text{Li}}, K_{\text{B}}$ – концентрация; N – сумма ядер; ϕ – плотность потока нейтронов; $m_{\text{эф}}$ – эффективная масса; $S_{\text{пуч}}$ – площадь видимого пучка нейтронов; $\vartheta^{\text{реак}}$ – парциальный состав дозообразующей реакции.

Из приведенных данных видно, что по ряду параметров, в частности по величине выделяющейся энергии идущей на поражение больных клеток, препараты, содержащие литий, превосходят препараты, содержащие бор, что указывает на перспективность проведения дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1) <http://globocan.iarc.fr>
- 2) http://www.cancer.ic.ck.ua/index_5_1.htm
- 3) Фриш О.Р. Справочник по ядерной физике / Пер. под ред. Арцимовича Л.А. М.: Физматгиз, 1963. – С.244–326.

Секция 5

**СЕЛЕКЦИЯ И ГЛУБОКАЯ ОЧИСТКА ТРУДНО РАЗДЕЛЯЕМЫХ
ВЕЩЕСТВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Председатель: д.ф.-м.н., профессор А.П. Вергун

РАЗРАБОТКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОНИТОВ

Балашков В.С., Дрогалев А.С.

Научный руководитель: Вергун А.П., д.ф-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: balashkov_vit@mail.ru

Применение ионитов в процессах разделения изотопов позволит уйти от использования вредных веществ. Разработаны ряд методов, позволяющих достичь приемлемого коэффициента разделения. Так же было предложено внедрение гибких производственных систем (ГПС) в процессы разделения изотопов. [1]. Была составлена математическая модель описывающая процесс изотопного разделения и отвечающая требованиям адекватности. Ее применение возможно для организации работы ГПС и оптимизации работы каскада. ГПС — это система, допускающая иерархическую организацию с комплексно-автоматизированным производственным процессом, работа всех компонентов которой (технологического оборудования, транспортных и складских средств, погрузочно-разгрузочных устройств, мест комплектации, средств измерения и контроля и т. п.) координируется как единое целое системой управления, обеспечивающей быстрое изменение программ функционирования элементов при смене объектов производства.

ГПС кардинально повышают производительность труда и объемы производства, расширяют номенклатуру и сокращают сроки обновления продукции. Высокая степень автоматизации в ГПС сокращает количество рабочих, занятых в производстве, и улучшает условия труда. ГПС включает основное и вспомогательное технологическое оборудование, автоматизированные транспортно-накопительные системы, робототехнологические комплексы (РТК), средства вычислительной техники.

Для оптимизации работы каскада по разделению изотопов, а так же ускорения темпов обновления продукции был сделан переход от автоматизации отдельных элементов производственного процесса к комплексной автоматизации на всех уровнях. Применение ГПС в противоточных ионообменных колоннах возможно, так как в них реализуется, обогащение по различным изотопам с минимальной перенастройкой оборудования.

Нами рассмотрены особенности разделения изотопов и ионов щелочных элементов при обмене в фазной системе ионит-раствор. Разделение изотопов обменными способами на твердофазных катионитах в колоннах с использованием противоточного режима движения фаз предполагает разработку узла обращения потоков фаз, при этом возникло несколько задач, которые необходимо совместно решить. Это регенерация катионита, использованного в процессе обмена, для извлечения из него целевого изотопа, перевод выделенного изотопа в фазу раствора для его последующего использования на стадиях разделения. [2]. На кафедре разработана и реализована схема разделения изотопов, где применялось оригинальное совмещение электродиализа и ионного обмена на установке, состоящей из противоточной ионообменной колонки с наложением электрического поля и электродиализатора, присоединенного к ее катодной части. [3]. При разделении изотопов на данной установке существенно повышается число переноса и степень изотопного разделения по сравнению с обычной электрохроматографической колонкой. [4]. Более эффективно осуществляется и каскадирование ступеней типа электродиализатор-колонка, чем одних только электрохроматографических колонн.

Результаты исследований в рассматриваемом направлении являются научной базой для решения задач повышения эффективности разделительных процессов, поиска новых способов разделения и тонкой очистки веществ, определения оптимальных условий их проведения с учетом требований экологии и безопасности.

Использование ГПС в рассматриваемых схемах разделения изотопов позволило увеличить производительность и сократить время на перенастройку оборудования для выпуска изотопной продукции различных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дубяга В.П., Бесфамильный И.Б. Нанотехнологии и мембраны (обзор) // Мембраны. – 2005. – №3 (27). – С. 11–16.
2. Розен А.М. «Теория разделения изотопов в колоннах» - М.: Атомиздат., 1960.
3. Власов В.А., Вергун А.П., Орлов А.А. «Разделительные процессы с применением ионообменных материалов» - Томск: ТПУ, 2002.

ИЗМЕНЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ЛИТИЯ В ПРОЦЕССЕ ЗОННОЙ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Акимов Д.В., Егоров Н.Б., Журавлев Н.А.

Научный руководитель: Егоров Н.Б., к.х.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: akimov@tpu.ru

Зонная перекристаллизация, часто называемая зонной плавкой, применяется для глубокой очистки веществ и получения их в монокристаллическом виде. Так как зонной перекристаллизацией можно разделять вещества с очень близкими свойствами, а изотопы с низким содержанием можно с известной долей приближения рассматривать как своеобразную примесь к основному изотопу, то существует возможность изменения соотношения стабильных изотопов в солях и металлах под влиянием зонной перекристаллизации.

В литературе имеются работы по применению зонной перекристаллизации для разделения H_2O и D_2O [1, 2]. В настоящей работе исследовано изменение изотопного состава лития при зонной перекристаллизации его солей. Литий имеет два изотопа 6Li и 7Li в соотношении 6,950 %, 93,050 % [3]. В работе также использовались высокообогащенные изотопы лития: ${}^6Li = 90,30$ %, ${}^7Li = 99,50$ %.

Целью работы являлось исследование разделения изотопов лития в процессе зонной перекристаллизации его солей и выявление факторов, интенсифицирующих этот процесс.

Опыты проводили на установке для зонной перекристаллизации, имеющей пять зон нагрева и охлаждения, общий вид платформы для разделения представлен на рисунке 1. В качестве рабочих соединений использовались кристаллогидраты солей лития т.к. они имеют низкую температуру плавления, что уменьшает энергопотребление. Также они устойчивы при данных температурах и расплавляются в своей кристаллизационной воде.

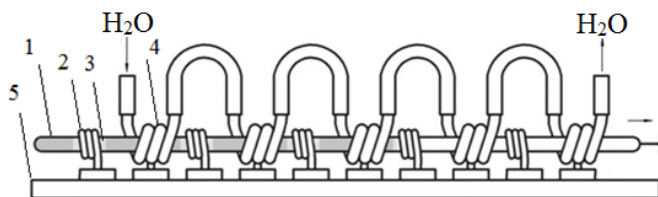


Рисунок 1. Платформа для зонной перекристаллизации (1 – стеклянная трубка; 2 – элемент нагрева; 3 – зона расплава; 4 – элемент охлаждения; 5 – неподвижная платформа)

В экспериментальных исследованиях с литием природного изотопного состава были получены данные по оптимальным параметрам процесса зонной перекристаллизации, а также факторам интенсифицирующих его. Полученные результаты были использованы при изучении возможности увеличения изотопной чистоты высокообогащенных изотопов лития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Херингтон Е. Зонная плавка органических веществ. – М.: Мир, 1965. – 260 с.
2. Smith H.A., Thomas C.O. The separation of mixtures of ordinary and heavy water by zone refining // J. phys. Chem.. – 1959. – V. 63. - P. 445-446.
3. Бродский А.И. Химия изотопов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 595 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ ЗОННОЙ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Обмуч К.В., Акимов Д.В.

Научный руководитель: Егоров Н.Б., к.х.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kvo@tpu.ru

Редкоземельные элементы (РЗЭ), а также скандий и иттрий используют в самых разных областях современной техники: в радиоэлектронике, атомной технике, в металлургии и т. д. Поэтому в мире имеется устойчивый рост потребления и производства РЗЭ. С целью их удешевления осуществляется развитие традиционных и поиск новых технологических схем переработки сырья, содержащего, а также способов получения высокочистых индивидуальных элементов. Для разделения смеси РЗЭ на индивидуальные компоненты в современной химической технологии используют процессы ионного обмена и экстракции. Однако у современных методов существуют свои недостатки. Так, в случае жидкостной экстракции необходимо учитывать взаимную растворимость водной и органической фаз, приводящую к безвозвратной потере экстрагента, стоимость которого сопоставима с разделяемыми РЗЭ. Процессу ионного обмена присущи низкие коэффициенты разделения РЗЭ, вследствие чего его можно рассматривать лишь как дополнительный к экстракции способ разделения РЗЭ. Поэтому поиск методов разделения РЗЭ до сих пор является актуальной задачей. Зонная перекристаллизация, часто называемая зонной плавкой, применяется для глубокой очистки веществ, получения их в монокристаллическом виде, а также для разделения близких по свойствам элементов.

В нашей работе мы исследовали разделение хлоридов РЗЭ в процессе зонной перекристаллизации их кристаллогидратов. Кристаллогидраты РЗЭ расплавляются полностью без остатка при низкой температуре; а также соединения содержат, молекулы воды, которые могут оказывать влияние на распределение РЗЭ в процессе перекристаллизации. Результаты анализа указывают, что концентрация церия увеличивается в образцах первых частей слитка, а гольмий перемещается вместе с зоной расплава и концентрируется в конечной зоне кристаллизации. Полученные результаты подтверждают, что первоначальная зона перекристаллизации, содержит большие количества легкого церия, а конечная зона более насыщена тяжелым гольмием. Для определения коэффициентов численные значения распределений РЗЭ после зонной перекристаллизации сравнивались с исходными концентрациями. Для оценки возможности проведения процессов разделения РЗЭ в процессе зонной перекристаллизации вычислены коэффициенты разделения и обогащения хлоридов гольмия и церия, значения которых представлены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты разделения и обогащения гольмия и церия в процессе зонной перекристаллизации

Характеристики процесса зонной перекристаллизации	РЗЭ	
	Ho	Ce
Коэффициент обогащения (β)	1,311	1,155
Коэффициент разделения (α)	1,007	1,004

По всей видимости, полученные результаты, возможно объяснить, только предположив, что на распределение РЗЭ при перекристаллизации накладывается процесс ионной сольватации, которая может сдерживать диффузию гидратированных ионов церия и таким образом способствовать разделению пары церий-гольмий [1, 2]. Таким образом, полученные данные исследования свидетельствуют о возможности разделения РЗЭ в процессе зонной перекристаллизации их хлоридов кристаллогидратов. Использование солей РЗЭ, имеющих низкую температуру плавления (90-165 °С) в качестве рабочего вещества позволит получать высокочистых индивидуальных РЗЭ без использования дорогих органических соединений, уменьшить количество водных и водно-органических отходов, что в свою очередь приведет к снижению их стоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Mioduski T., Guminski C., Zeng D. IUPAC-NIST Solubility Data Series. 87. Rare Earth Metal Chlorides in Water and Aqueous Systems. Part 2. Light Lanthanides (Ce–Eu) // J. Phys. Chem. Ref. Data – 2009. – № 2. – P. 441-562.
2. Mioduski T., Guminski C., Zeng D. IUPAC-NIST Solubility Data Series. 87. Rare Earth Metal Chlorides in Water and Aqueous Systems. Part 3. Heavy Lanthanides (Gd–Lu) // J. Phys. Chem. Ref. Data – 2009. – № 4. – P. 925-1011.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА(III) ИЗ СОЛЯНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ БЕНЗО-15-КРАУН-5

Выдыш А.А., Фатеева А.С.

Научный руководитель: Довгий И.И., к.х.н., доц.

Севастопольский государственный университет, 299053, Россия, г. Севастополь, ул.

Университетская, 33

E-mail: dovhyi.illarion@yandex.ru

Радиоактивный изотоп ^{198}Au (период полураспада 2,967 сут.) используется при лечении злокачественных опухолей и радиотерапии, поэтому разработка методов селективного извлечения золота является актуальной задачей.

Высокая эффективность и селективность в извлечении золота из солянокислых растворов ранее была показана для кристаллических цис- (4,4'-) и транс- (4,5'-) изомеров динитро-дibenзо-18-краун-6 (ДНДБ18К6) [1], а также бензо-15-краун-5 (Б15К5) и бромпроизводных ряда краун-эфиров [2].

Сорбция металлов кристаллическими краун-эфирами нецелесообразна ввиду их большого расхода как достаточно дорогих реактивов. Поэтому нами был получен ряд сорбентов на основе неионогенного носителя стирол-дивинилбензольного сополимера «Поролас-Т», бензо-15-краун-5, модификатора (октанол-1), и изучено извлечение золота(III) из солянокислых растворов. Методика получения сорбента без модификатора была описана нами ранее [3]. Сорбент с модификатором представляет собой 1 М октанольный раствор Б15К5 в порах носителя. Извлечение проводили 0,1 г сорбента из 10 мл раствора. Результаты экспериментов на естественном изотопном составе представлены на рис. 1. Концентрацию золота в растворе до и после сорбции определяли пламенным атомно-абсорбционным методом.

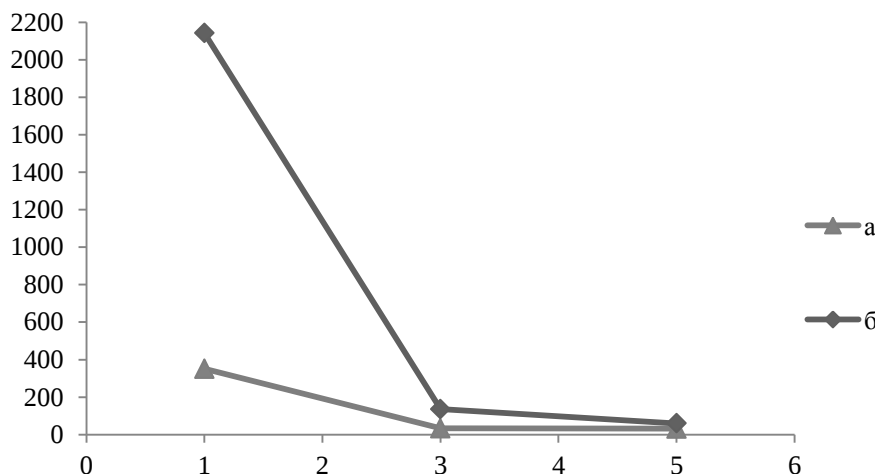


Рис. 1. Зависимость коэффициента распределения Au(III) от концентрации соляной кислоты: а (10,1% Б15К5 без модификатора); б (8,72% Б15К5, модификатор октанол-1).

Т.о. использование модификатора позволяет получить более высокие значения коэффициентов распределения золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Якшин В.В., Вилкова О.М., Царенко Н.А., Цивадзе А.Ю. Реакционная способность цис- и транс-изомеров динитро- и диаминозамещенных дibenзо-18-краун-6 в процессах сорбции солей металлов // Доклады Академии Наук. – 2010. – Т. 430, №3. – С. 342-344.
2. Якшин В.В., Вилкова О.М., Плужник-Гладырь С.М., Котляр С.А. Краун-эфиры в экстракции и сорбции. I. Бромпроизводные бензо- и дibenзокраун-эфиров в процессах сорбции элементов из кислых водных растворов // Макрогетероциклы. – 2010. – Т. 3, №2-3. – С. 114-120.
3. Bezhin N.A., Dovhyi I.I., Lyapunov A.Yu. Sorption of strontium by the endoreceptor dibenzo-18-crown-6 immobilized in a polymer matrix // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2015. – Vol. 303. – No. 3. – P. 1927–1931. DOI: 10.1007/s10967-014-3770-1.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦЕЗИЯ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ КЛИПСО-КРАУНА ПРОИЗВОДНОГО ДИФЕНИЛГЛИКОЛЬУРИЛА И БЕНЗО-15-КРАУН-5

Довгий И.И.¹, Губа Л.В.¹, Ляпунов А.Ю.²

Научный руководитель: Довгий И.И.¹, к.х.н., доц.

¹Севастопольский государственный университет, 299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

²Физико-химический институт им. А.В. Богатского, 65080, Украина, г. Одесса, Люстдорфская дорога, 86

E-mail: dovhyi.illarion@yandex.ru

Одним из перспективных направлений современной радиохимии является использование супрамолекулярных макроциклических соединений (краун-эфиров, каликсаренов и т.д.) для селективного экстракционного и сорбционного извлечения металлов [1].

С этой точки зрения слабо изучено использование клипсokraунов, строение которых похоже на «молекулярный пинцет» [2]. В ФХИ им. А.В. Богатского был получен ряд соединений этого типа – производных дифенилгликольурилы и бензокраун-эфиров, также для них были определены константы комплексообразования с щелочными металлами [2]. В настоящей работе приводятся данные экспериментов по использованию клипсokraунов для получения сорбентов и извлечения цезия.

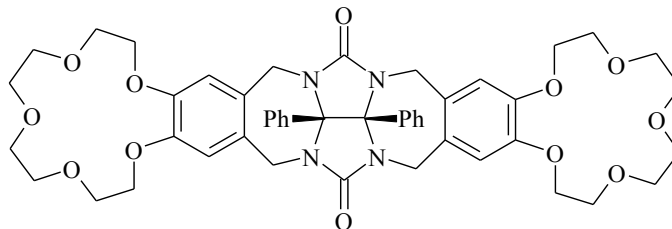


Рис. 1. Строение клипсokraуна.

Сорбенты получали импрегнированием клипсokraуна в полимерную матрицу «Поролас-Т» (50 мг на 1 г носителя), общая методика, особенности эксперимента, формулы для расчета описаны в [3]. Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты сорбции цезия из растворов различного состава

Эксперимент	Состав исходного раствора			K_p , мл/г	R , %	Γ , ммоль/г
	C_{Cs} , мг/л	C_{H_2O} , М	C_{EtOH} , %			
1.	20	0,01	20	34,53	25,67	0,0042
2.	20	–	20	17,86	15,16	0,0027
3.	20	0,01	–	9,34	8,54	0,0011
4.	20	–	–	3,76	3,63	0,0005

Таким образом, установлено, что в изученных условиях сорбция протекает незначительно, по сравнению даже с дибензо-24-краун-8 [3]. Наиболее высокие значения коэффициентов распределения получены при извлечении из водно-этанольных растворов в присутствии пикриновой кислоты. Для улучшения величин параметров сорбции перспективным является получение сорбентов с использованием различных модификаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Dozol J.F., Dozol M., Macias R.M. Extraction of Strontium and Cesium by Dicarbolides, Crown Ethers and Functionalized Calixarenes // *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. – 2000. – Т. 38. С. 1–22.
2. Kikot' L.S., Lyapunov A.Yu., Kulygina C.Yu., Bogaschenko T.Yu., Zubatyuk R.I., Shishkin O.V., Kirichenko T.I. Molecular clips based on diphenylglycoluril and benzocrown ethers: promising complexing agents for the alkali metal cations // *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. – 2014. – Vol. 79, No. 3-4. – P. 343–348.
3. Губа Л.В., Довгий И.И., Ляпунов А.Ю. Получение нового сорбента на основе эндорецептора дибензо-24-краун-8 // *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия: Биология, химия*. – 2013 – Т. 26 (65), № 1 – С. 306-311.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ СТРОНЦИЯ ИЗ АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ДИ-ТРЕТ-БУТИЛДИЦИКЛОГЕКСИЛ-18- КРАУН-6

Бежин Н.А., Полищук С.А.

Научный руководитель: Довгий И.И., к.х.н., доцент

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, Россия, г.

Севастополь,

ул. Университетская, 33

E-mail: nickbezhin@yandex.ru

Высокая активность отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов обусловлена присутствием долгоживущих радионуклидов, одним из которых является ^{90}Sr , период полураспада которого составляет 28,7 лет. Кроме того, ^{90}Sr является наиболее экологически опасным радионуклидом, т.к. для него не существует надежных геохимических барьеров. Его поведение в значительной степени похоже на поведение кальция, что определяет возможность его включения в органоминеральную основу костей и создает высокую дозовую нагрузку за счет внутреннего облучения. Большой интерес для извлечения стронция представляют сорбенты, импрегнированные краун-эфирами [1, 2], позволяющие селективно извлекать его из растворов чрезвычайно сложного солевого состава. Селективное извлечение ^{90}Sr позволит значительно снизить активность отходов, что упростит их дальнейшую переработку и хранение. Кроме того, ^{90}Sr широко применяется в качестве источника β -излучения. Перспективным также является применение краунсодержащих сорбентов для разделения изотопов стронция и дочерних радионуклидов. Поскольку радионуклид ^{90}Y находит широкое применение в биологии и радиотерапии благодаря короткому периоду полураспада (64 часа) и стабильности дочернего радионуклида ^{90}Zr .

Ранее нами был разработан стронций-селективный сорбент на основе дибензо-18-краун-6 в стирол-дивинилбензольной матрице «Поролас-Т». Однако он имеет коэффициент распределения 236 мл/г и степень извлечения 70 % [3]. В настоящее время с целью достижения количественного извлечения стронция нами разрабатывается серия сорбентов, получаемых путем пропитки предварительно подготовленной матрицы «Поролас-Т» краун-эфиром ди-трет-бутилдициклогексил-18-краун-6 (ДТБДЦГ18К6), растворенным в хлороформе, с использованием в качестве модификатора (октанола) и без него. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты сорбции стронция различными модификациями сорбента

Сорбент			Параметр	Концентрация азотной кислоты, М		
Матрица	$\omega(\text{ДТБДЦГ18К6})$, %	$\omega(\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH})$, %		3	5	7
Поролас-Т	4,72	0	K_p , мл/г	6,3214	4,9965	0
			R , %	5,946	4,759	0
Поролас-Т	3,45	28,2	K_p , мл/г	18,0265	28,504	23,975
			R , %	15,273	22,181	19,519
Поролас-Т	14,63	24,93	K_p , мл/г	46,7737	86,057	82,842
			R , %	31,868	46,253	45,308

Как видно из полученных результатов использование октанола в качестве модификатора для получения сорбента приводит к наилучшим показателям сорбции. В дальнейшем нами планируется исследование сорбции стронция при использовании других модификаторов, а также при предварительной отмывке матрицы органическими растворителями.

Работа выполнена в рамках НИР по теме «Разработка сорбентов на основе краун-эфиров для извлечения стронция из ОЯТ» при финансировании Федерального государственного бюджетного учреждения «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» победителя конкурса «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Нестеров С.В. Краун-эфиры в радиохимии. Достижения и перспективы // Успехи химии. – 2000. – № 69 (9). – С. 840–855.
2. Horwitz E.Ph., Chiarizia R., Dietz M.L. A novel strontium-selective extraction chromatographic resin // Solvent Extraction and Ion Exchange. – 1992. – Vol. 10, No. 2. – P. 313–336.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ КОБАЛЬТА СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ДИТРЕТБУТИЛ-ДИЦИКЛОГЕКСИЛ-18-КРАУН-6

Янковская В.С.¹, Ляпунов А.Ю.²

Научный руководитель: Довгий И.И.¹, к.х.н., доцент

¹Севастопольский государственный университет, 299053, Россия,
г. Севастополь, ул. Университетская, 33

²Физико-химический институт им. А.В. Богатского, 65080, Украина,
г. Одесса, Люстдорфская дорога, 86

E-mail: dovhyi.illarion@yandex.ru

Сорбционное извлечение кобальта краун-эфирами является мало изученной проблемой [1]. Нами был получен ряд сорбентов на основе неионогенного носителя стирол-дивинилбензольного сополимера «Поролас-Т», дитретбутил-дициклогексил-18-краун-6 (ДТБДЦГ18К6) и модификаторов (октанол, нитробензол).

Известна экстракция кобальта краун-эфирами из роданидных растворов [2]. Нами проводилось извлечение кобальта из солянокислых растворов и из солянокислых растворов содержащие роданид аммония (5 моль/л).

Методика получения сорбента без модификатора была описана нами ранее [3]. Также было показано, что кобальт не извлекается сорбентами на основе краун-эфиров в присутствии роданидов без модификаторов. Сорбенты с модификаторами представляют собой октанольные и нитробензольные растворы ДТБДЦГ18К6 в порах носителя (отношение компонентов 50 мг краун-эфира: 0,5 мл модификатора: 1 г носителя).

Значения коэффициентов распределения K_p , емкости сорбента Γ и степени извлечения кобальта R приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты извлечения кобальта из роданидных и солянокислых растворов

Состав исходного раствора	pH	Параметры извлечения	Модификаторы	
			Октанол	Нитробензол
HCl	1,08	K_p , мл/г	5,14	4,72
		Γ , ммоль/г	0,0007	0,0006
		R , %	4,89	4,51
NH ₄ SCN + HCl	1,54	K_p , мл/г	239,96	1768,58
		Γ , ммоль/г	0,0088	0,0118
		R , %	70,58	94,23
NH ₄ SCN	2,03	K_p , мл/г	291,75	1804,76
		Γ , ммоль/г	0,0096	0,0122
		R , %	74,47	94,74

Таким образом, установлено, что сорбция кобальта значительно протекает из роданидных растворов с использованием в качестве модификатора нитробензола. Максимальное извлечение составило около 95%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Hanzel R. Sorption of cobalt on modified silica gel materials / R. Hanzel, P. Rajec // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2000. – Vol. 246, No. 3. – P. 607–615.
2. Yoshio M. Analytical Applications of Crown Ether Extraction of Cobalt Thiocyanate Complex With Ammonium-Crown Ether Complex / M. Yoshio, M. Ugamura, H. Noguchi, M. Nagamatsu // Analytical Letters. – 1978. – Vol. 11, No. 4. – P. 281–286.
3. Маник В.С., Довгий И.И., Ляпунов А.Ю. Сорбция кобальта краун-эфирами, иммобилизованными в полимерной матрице // Збірник наукових праць СХУАЕтаП. – 2013. – № 1 (45). – С. 156–161.

РАДИКАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РАСТВОРЕНИИ ОЗОНА В ВОДЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Цхе А. А., Нейман В.А.

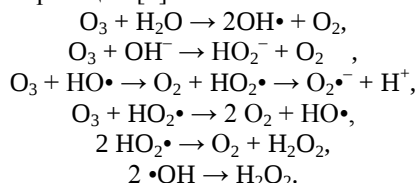
Научный руководитель: проф. Мышкин В.Ф.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: anny0393@mail.ru

С развитием техники и технологии растет потребление воды. Однако запасы чистой воды в природных условиях ограничены. Поэтому актуальны исследования, связанные с процессами очистки воды. Озонирование является одним из методов очистки и обеззараживания воды.

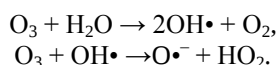
Озон является газом, который хорошо растворяется в воде, причем его растворимость увеличивается с понижением температуры. Растворение сопровождается процессом разложения озона, что связано с взаимодействием с гидроксид-ионами и молекулами воды. В чистой воде протекают следующие химические реакции [1]:



В литературе [2] приводятся константы скоростей этих реакций.

При растворении озона в воде происходит постепенная трата озона с образованием радикалов. Реакция разложения озона в воде описывается сложным механизмом, так как на процесс разложения оказывают влияние множество трудно контролируемых факторов. К таким факторам относятся соотношение между парциальным давлением газа и его растворимостью в водном растворе, условия перехода озона из газовой фазы в жидкость, наличие органических примесей и других загрязнений.

В общем виде процесс взаимодействия озона с чистой водой можно объединить следующими уравнениями:



Конечными продуктами растворения озона в дистиллированной воде, при продолжительном наблюдении, являются вода и молекулярный кислород.

Так как в процессе взаимодействия озона с молекулами воды, как правило, образуется один радикал, то последующая радикальная пара имеет диффузионный характер. При этом радикальная пара оказывается на некоторое время в «клетке». Это означает, что радикалы на некоторое время окружены молекулами воды и взаимодействуют лишь друг с другом. Необходимым условием рекомбинации пары радикалов является синглетное состояние спинов неспаренных электронов - спин пары радикалов должен быть тождественен спину продуктов. Скорость и вероятность образования химической связи зависят от магнитного момента ядер радикалов, вступающих в реакцию.

В магнитном поле происходит ускорение процесса спиновой конверсии из триплетного (нереакционноспособного) в синглетное (химически активное) состояние. Этот процесс можно назвать спиновым катализом. Несомненно, что изменение скорости конверсии разных спиновых пар различно. Поэтому в магнитном поле скорости различных процессов [2] могут существенно измениться. Однако, изменение относительных скоростей различных процессов не может изменить конечное состояние продуктов: вода и кислород.

При обработке озоном, присутствующие в различных водных системах примеси также будут вовлечены в радикальные процессы. Анализ показывает, что в постоянном магнитном поле изменится как скорость разрушения органических соединений, так и конечный состав продуктов. Например, при обработке бетанина озоном при некоторой величине магнитного поля органическое соединение практически не разлагается. При других значениях воздействующего поля наблюдается ускоренное разрушение бетанина озоном относительно скорости без воздействия магнитным полем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kasprzyk-Hordern B., Ziolk M., Nawrocki J. Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2003. Vol. 46. P. 639–669.
2. Лунин В.В., Попович М.П., Ткаченко С.Н. Физическая химия озона. М.: Изд-во МГУ, 1998. - 480 с.

РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКАЯ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ПРИВИВКА ТОНКИХ ПЛЕНОК ПВДФ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МЕМБРАНЫ

Иль А.П., Дюсембекова А.А.

Научный руководитель: Сохорева В.В., с.н.с

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2

E-mail: nasya_111993@mail.ru

Протонпроводящие мембраны для твердотельных топливных элементов должны удовлетворять определенным требованиям: во-первых высокой протоной проводимостью химической стойкостью способностью работать при повышенных температурах. Работа посвящена исследованию процессов радиационно-химической и термической модификации ПВДФ для формирования в нем протонопроводящих свойств.

Исследования проводились как с образцами ПВДФ облученными ионами гелия с энергией 28 Мэв, так и с образцами ПВДФ не облученными ионами. Все облучения проводились на выведенном в воздух пучке ионов ускорителя Р-7М ФТИ ТПУ. Исходные полимерные пленки из ПВДФ толщиной 20 мкм вырезались диаметром 60 мм и помещались в специальный держатель из которого откачивался воздух затем в контейнер напускался прививочный раствор стирола с толуолом в соотношении 1:1. Раствор предварительно барботировали азотом. Перед заполнения контейнеров раствором проводились исследования влияния скорости пропускания азота через раствор и определялось минимальное количество остаточного кислорода. Предварительно барботировали азотом, чтобы исключить нежелательное присутствие кислорода. Дополнительно провели такой анализ с аргонем. Эти газы активно вытесняют кислород из раствора. На рисунке 1. Представлена зависимость содержания кислорода от времени барботирования.

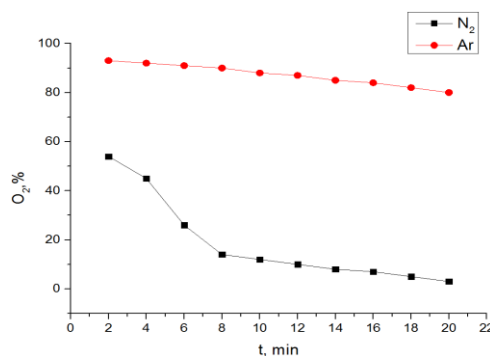


Рис. 1. Влияние времени барботирования аргона и азота на концентрацию кислорода в прививочном растворе

Барботирование газами проводилось в течение 20 мин. Замещение кислорода в растворе азотом происходит быстрее, нежели с аргонем. Ввиду того, что плотность у аргона меньше, чем у азота, соответственно содержание его в воздухе меньше и на удаление кислорода нужно израсходовать большое количество. В итоге азот при контакте с воздухом поглощает из него кислород, при этом плавится, образуя раствор кислорода в азоте.

В целом, развитие представлений о селективных и «дальнодействующих» эффектах на ранних стадиях радиационно-химических превращений макромолекул не только представляет фундаментальный научный интерес, но и является основой для формулировки новых принципов радиационной стабилизации и радиационного модифицирования полимерных систем. Речь может идти о подходах, использующих достаточно низкие дозы облучения и малые концентрации добавок или химически модифицированных звеньев, введенных в определенное положение. В таблице 1 представлены результаты гравиметрических исследований

Проведенные исследования показали, что степень прививки мономера стирола к тонким пленкам ПВДФ значительно выше чем в случае термической прививки без облучения. В процессе облучения образуются достаточное количество свободные радикалов к которым происходит боковая пришивка стирола. В случае термической прививки, возможно, требуется значительно больше времени для образования свободных радикалов.

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ

Дрогалева А.С., Вергун А.П., Балашков В.С.

Научный руководитель: Вергун А.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: drogalev@tpu.ru

Рассмотрим промышленную установку получения высокоочищенной воды, принцип действия которой основан на применении электробаромембранных процессов.

После предварительной очистки вода через фильтр механической очистки и насос повышения давления поступает на первую ступень обратного осмоса. Затем, через сорбционный фильтр, на вторую ступень и через стерилизующий фильтры на выход из установки (в систему хранения, на розлив и т.п.) Концентрат с первой ступени сливается в канализацию, а со второй поступает на вход первой ступени. Это сделано для уменьшения расхода воды и сброса в канализацию.

Финишный стерилизующий фильтр исключает попадание микрофлоры во внутренний объем и соответственно, нет необходимости в стерилизации внутренних частей установки. Важной частью установки является кондуктометр, измеряющий удельную электрическую проводимость очищенной воды в потоке. Контроль проводимости обеспечивает возможность оперативного отключения подачи некондиционной воды потребителю в автоматическом или ручном режиме. Вода питьевая из магистрального трубопровода поступает в песчаный фильтр грубой очистки (Ф-1), где освобождается от механических и коллоидных частиц. Насос (Н-2) для повышения давления на входе смонтирован на подводящем трубопроводе. Он обеспечивает оптимальное рабочее давление воды на входе в оборудование. Максимально возможное рабочее давление составляет 0,5 МПа.

Напорный бак (Сб-2а) компенсирует гидравлические удары в трубопроводе.

Фильтром предварительной обработки является фильтр с активированным углем, где адсорбируются и удаляются из воды органические вещества с низким молекулярным весом, нерастворимые примеси и хлор, что улучшает органолептические качественные характеристики воды (обесцвечивание, улучшение ее вкуса и др.). Далее вода поступает в узел умягчения (К-4), где удаляются такие катионы, как магний и кальций, т.е. происходит понижение жесткости воды перед ее поступлением в демистанцию.

Для получения воды очищенной используется установка получения воды очищенной (ОВ-5). Очистка воды осуществляется с помощью обратного осмоса и электродеионизации.

Работа электродеионизационного модуля основана на комбинации смол (ионита), выборочно проницаемых ионообменных мембран и электрического заряда для обеспечения непрерывного потока (продукта и концентрированных отходов) и непрерывной регенерации.

Очищенная вода собирается в сборнике (Сб-6) емкостью 1500 л и оттуда распределяется с помощью циркуляционного насоса (Н-7) через встроенную в кольцевой трубопровод лампу ультрафиолетовую (ЛФ-8) к отдельным местам разбора по циркуляционному трубопроводу (распределительному кольцу). В состав циркуляционного контура входит теплообменник-охладитель (Т-9), предназначенный для охлаждения воды очищенной при циркуляции по контуру. В системе управления должна быть установлена температура воды в циркуляционном контуре 20°C. В случае превышения температуры 22°C автоматически откроется подача воды холодной в межтрубное пространство теплообменника, и начнется охлаждение воды очищенной, которое прекратится после достижения температуры ниже 20°C.

На возвратном трубопроводе воды очищенной установлены:

- манометр (КП-10);
- прибор, контролирующий скорость потока возвратной воды – расходомер (КП-11);
- кондуктометр температуры и удельной электропроводности возвратной воды очищенной. (КП-12).

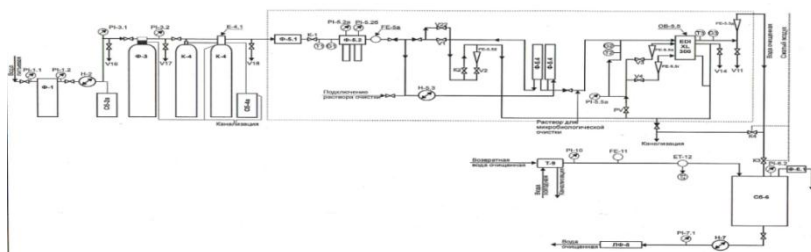


Рисунок 1.
Схема установки получения воды высокой чистоты с применением электробаромембранных процессов

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН С ТОНКИМ СЛОЕМ ПОЛИМЕРА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА В ВАКУУМЕ

Дюсембекова А.А.

Научные руководители: с.н.с. Сохорева В.В.¹, с.н.с. Кравец Л.И.²

¹Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

²Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных реакций
им. Г.Н. Флерова, 141980, Россия, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6

E-mail: aad38@tpu.ru

Одним из перспективных направлений создания полимерных мембран с асимметрией проводимости – нанофлюидных диодов является формирование композитных двухслойных мембран путем осаждения на поверхности трековых мембран слоя полимера, образующегося в процессе полимеризации в плазме [1]. Особенность таких мембран – наличие двух слоев с различными по химической структуре и свойствам функциональными группами. При контакте подобных слоев появляется уникальное свойство – асимметрия проводимости. Полученные композитные мембраны подобны полупроводниковому диоду, поскольку существует формальная аналогия между проводимостью данных мембран в водном растворе электролитов и электронов и дырок в полупроводнике.

В данной работе с целью получения композитных мембран на одну из сторон пористой подложки, в качестве которой использована полипропиленовая трековая мембрана (ПП ТМ), методом электронно-лучевого диспергирования политетрафторэтилена (ПТФЭ) в вакууме наносили тонкие слои полимера.

В эксперименте использовали ПП ТМ с эффективным диаметром пор 300 нм, изготовленную в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) на основе ПП-пленки Torayfan T2372 производства фирмы “Тогау” (Япония) с номинальной толщиной 10,0 мкм. Для получения мембраны ПП-пленку облучали ускоренными на циклотроне ионами ксенона (с энергией ~1 МэВ/нуклон). Флюенс ионов составлял 10^8 см⁻². Химическое травление облученной пленки для получения сквозных пор проводили при температуре 80°C в водном растворе хромового ангидрида с концентрацией 1000 г/л, методика травления подробно описана в [2]. Пленку ПТФЭ на поверхность ПП ТМ наносили осаждением из активной газовой фазы методом электронно-лучевого диспергирования полимера в вакууме на установке ВУП-5 по методике [3]. Проведенные исследования показали, что осаждение слоя полимера, образованного методом электронно-лучевого диспергирования ПТФЭ в вакууме на поверхности ПП ТМ приводит к созданию композитных мембран, обладающих в растворах электролитов асимметрией проводимости – выпрямляющим эффектом. Причиной появления асимметрии проводимости у модифицированных ПП ТМ является существенное уменьшение диаметра пор в слое полимера, приводящем к изменению геометрии пор. Возникающий эффект асимметрии проводимости обусловлен также наличием межфазной границы раздела между исходной мембраной и слоем осажденного полимера. Исследование двухслойных композитных мембран методом импедансной спектроскопии показало, что для них наблюдается повышение сопротивления переносу ионов в порах. Это обусловлено существенным уменьшением диаметра пор в слое полимера, осажденного на поверхности исходной ПП ТМ, а также увеличением общей толщины мембраны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kravets L.I., Dmitriev S.N., Satulu V., Mitu B., Dinescu G. Fabrication and electrochemical properties of polymer bilayered membranes. // Surface Coating Technology.– 2011. – Vol. 205. – Suppl. 2. – P. S455-S461.
2. Кравец Л.И., Дмитриев С.Н., Апель П.Ю. Получение и свойства полипропиленовых трековых мембран. // Химия высоких энергий. – 1997. – Т. 31. – № 2. – С. 108–113.
3. Егоров А.И., Казаченко В.П., Рогачев А.В., Яблоков М.Ю. Динамика начальных стадий формирования покрытий из политетрафторэтилена и их свойства. // Журн. физич. хим. – 2002. – Т. 76. – № 11. – С. 2085–2089.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

- А -

Акимов Д.В. 55, 56
Александров О.Е. 17
Алюков Е.С. 19
Аусенов К.Ж. 33

- Б -

Бабаев Р. Г. 27, 50
Балашков В.С. 54, 63
Бежин Н.А. 59
Беспала Е.В. 25, 26
Борецкий Е.А. 28
Бутов В.Г. 18

- В -

Вергун А.П. 54, 63
Видяев Д.Г. 28, 51, 52
Выдыш А.А. 57
Верхорубов Д.Л. 28

- Г -

Гадельшин В.М. 17
Гавриш В.М. 16
Гостева И.В. 41
Громов В.О. 38
Григорьев А.С. 27, 39
Губа Л.В. 58

- Д -

Дербасова Н.М. 16
Довгий И.И. 57, 58, 59, 60
Дрогалев А.С. 54, 63
Дюсембекова А.А. 62, 64

- Е -

Егоров Н.Б. 55, 56

- Ж -

Журавлев Н.А. 55

- З -

Зубов В.В. 46
Зукау В.В. 49

- И -

Иль А.П. 62

- К -

Кабанов Д.В. 49
Кадочников С.С. 46
Казарян М.А. 24
Каренгин А.Г. 34, 35, 36, 40, 41, 42, 43, 46, 47
Каренгин А.А. 40, 42
Ключникова Ю.О. 48
Коваленко Д.С. 20
Колточник С.Н. 37
Котляревский С.Г. 26
Кудрна П. 30
Курапов Н.Н. 23
Кравец Л.И. 64

- Л -

Левчук Р.В. 20
Лемешенко Т.И. 47
Лемякин А.Э. 51
Ляпунов А.Ю. 58, 60

- М -

Макаревич С.В. 31
Малюгин Р.В. 14
Мышкин В.Ф. 25, 26, 27, 31, 39, 50, 61

- Н -

Нейман В.А. 61
Новоселов И.Ю. 36, 43
Неклюдов А.А. 18

- О -

Обмуч К.В. 56
Обходская Е.В. 24
Орешкин Е.А. 36
Орлов А.А. 13, 14, 19, 20, 21

- П -

Павленко А.П. 34, 40
Павлюк А.О. 26
Перекрестов Р.В. 30
Пешехонова А.С. 35
Пироженко Т.Е. 41
Пиунова К.Г. 42

Побережников А.Д. 43
Полищук С.А. 59

- Р -

Ремнев Г.Е. 29
Рыжакова Н.К. 48

- С -

Саванюк С.Н. 45
Сачков В.И. 24
Селезнёв В.Д. 17
Семченко И.С. 50
Сидоренко В.С. 21
Скорынин Г.М. 11
Совач В.П. 13, 15
Сосновский С.А. 24
Сохорева В.В. 62, 64

- Т -

Тельнов А.В. 23
Тимченко С.Н. 18, 21
Титов Е.С. 25
Тундешев Н.В. 47
Тюделеков Е.А. 52

- У -

Ушаков А.А. 13,15
Ушаков И.А. 27

- Ф -

Фатеева А.С. 57

- Х -

Хромяк М.И. 23

- Ц -

Цимбалюк А.Ф. 14
Цхе А.А. 61

- Ч -

Чибисов Е.В. 49
Чекушина Л.В. 37

- Ш -

Шагова Ю.В. 16

Шаймерденов А.А. 37
Шаравина М.В. 23
Шаманин И.В. 33, 37, 38, 45, 49
Шеховцова А.П. 36
Шилова К.О. 48
Шаманин В.И. 29

- Я -

Янковская В.С. 60

Научное издание

ИЗОТОПЫ: ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

Сборник тезисов докладов
II Международной научной конференции
молодых ученых, аспирантов и студентов

Издано в авторской редакции

**Отпечатано в ООО «Графика» в полном соответствии с
качеством представленного оригинал-макета**

Подписано к печати 06.10.2015. Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 3,96.
Заказ 2667. Тираж 50 экз.

ООО «Графика». 634050, г. Томск, ул. Беленца, 17