

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



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

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

20-24 октября 2014 года

**Мероприятие проводится при финансовой поддержке Российского
фонда фундаментальных исследований грант № 14-38-10206 мол-г**



Томск -2014

УДК 621.039.3 (063)

ББК 35.364.л0

ИЗ8

ИЗ8 Изотопы: технологии, материалы и применение: Материалы Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (20-24 октября 2014 г.) Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 136 с.

ISBN 978-5-4387-0482-9

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.л0

**Мероприятие проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований,
Грант № 14-38-10206 мол_г**

ISBN 978-5-4387-0482-9

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2014

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 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, α –

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., Орлов А.А.**

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

Мазур Р.Л., директор Завода разделения изотопов ОАО «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

Вергазов К.Ю., к.т.н., генеральный директор ОАО «ЧМЗ»

Кадыржанов К.К., д.ф.-м.н., профессор, академик Национальной инженерной академии РК, Международной инженерной академии, РАЕН, лауреат Государственной премии РК, советник ректора Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Казахстан

Дуйсебаев Б.О., д.т.н., профессор, генеральный директор ТОО «Институт высоких технологий» ОАО 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

МАЗУР Р.Л.

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

КАЗАРЯН М.А.

Оптическое и лазерно-химическое разделение изотопов в атомарных парах.....6

MILAN TICHY, CHARLES UNIVERSITY IN PRAGUE, CZECH REPUBLIC

Современное состояние зондовой диагностики низкотемпературной плазмы.....6

МАЗУР Р.Л.

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

ШАМАНИН И.В.

Физика растворов в технологиях разделения элементов, изотопов и макромолекул.....6

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

ЯЦЕНКО Д.В., БОРИСЕВИЧ Д.В., ГОДИСОВ О.Н.

О критериях оценки эффективности циркуляции в ГЦ с различными геометрическими размерами.....15

КИСЛОВ В.А., БОГОВАЛОВ С.В, ТРОНИН И.В.

Зависимость оптимальной разделительной способности газовой центрифуги от геометрических параметров и скорости ротора.....16

ГАДЕЛЬШИН В.М., АЛЕКСАНДРОВ О.Е., СЕЛЕЗНЁВ В.Д.,

ПАЛКИН В.А.

Многокомпонентный разделительный потенциал: по следам Дирака.....17

ТИМЧЕНКО С.Н., ОРЛОВ А.А., СИДОРЕНКО В.С.

Разработка компьютерного тренажера Завода разделения изотопов ОАО «СХК».....	18
ДУРНОВЦЕВ М.И., КРАЙНОВ А.Ю., ГУБАНОВ С.М., ЧУКАНОВ М.В. Измерение давления насыщенных паров фтороводорода в области низких температур.....	20
КОВАЛЕНКО Д.С., ОРЛОВ А.А., ЛЕВЧУК Р.В. Связь характеристик спектра сигнала датчика оборотов с процессом образования коррозионных отложений на поверхности ротора газовой центрифуги.....	22
МАЛЮГИН Р.В., ЦИМБАЛЮК А.Ф., ОРЛОВ А.А. Математическая модель процесса десублимации UF_6 в вертикальные емкости.....	24
МАЛЮГИН Р.В., ЦИМБАЛЮК А.Ф., ОРЛОВ А.А. Математическое моделирование процесса заполнения емкости при десублимации UF_6 на ее внутренней поверхности.....	26
ОРЕХОВ Д.В., ЛЕБЕДЕВ А.Я., КУЗНЕЦОВ П.Г., ОРЛОВ А.А. Оптимальное планирование производственной программы производства по обогащению урана.....	27
КРАВЧЕНКО А.В., ЛЕБЕДЕВ А.Я., ТИТОВ Е.С., ОРЛОВ А.А. Перспективные методы рециркуляции урана в ядерно-топливном цикле.....	29

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

УШАКОВ И.А., ИЖОЙКИН Д.А. Спиновая сепарация изотопов углерода в магнитном поле.....	33
УШАКОВ И.А., ИЖОЙКИН Д.А. Физико-химические процессы при окислении изотопов углерода в магнитном поле.....	35
УШАКОВ И.А., ИЖОЙКИН Д.А. МЫШКИН В.Ф. Выбор окислителя для спиновой сепарации изотопов в плазмохимических процессах.....	37

ПОПОВЦЕВ Е.Е., СКОРИКОВ А.И., БАСКОВ В.Г., КИДЯМКИН А.В., МАРОЧКИНА У.М. Измерение изотопного состава германия методом поверхностной ионизации.....	39
ПОПОВЦЕВ Е.Е., СКОРИКОВ А.И., БАСКОВ В.Г., КИДЯМКИН А.В., МАРОЧКИНА У.М. Разработка методики определения изотопнообогатенных примесей в изотопнообогатенных препаратах, полученных на установке СУ-20.....	40
РАМАЗАНОВА К.М., МЫШКИН В.Ф. Исследование селективности процесса извлечения ионов щелочных металлов в магнитном поле методом электродиализа	41
БЕСПАЛА Е.В., ПЕРЕКРЁСТОВ Р.В. Изотопные эффекты при плазменном распылении титана в кислород аргоновой среде.....	43
ТЮДЕЛЕКОВ Е.А., САВОСТИКОВ Д.В., ВИДЯЕВ Д.Г. Установка для исследования сорбции водорода нанодисперсными материалами.....	45
БОРЕЦКИЙ Е.А., САВОСТИКОВ Д.В., ВИДЯЕВ Д.Г., СИДОРКИН А.С. Аккумуляция водорода углеродсодержащими наноструктурными системами.....	47

Секция 3. СЕЛЕКЦИЯ И ГЛУБОКАЯ ОЧИСТКА ТРУДНО РАЗДЕЛЯЕМЫХ ВЕЩЕСТВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

ГУБА Л.В., ДОВГИЙ И.И., ЛЯПУНОВ А.Ю. Извлечение цезия сорбентом на основе дибензо-24-краун-8: влияние кислотности водно-спиртового раствора.....	50
МАНИК В.С., ШТЕФАН А.В., ДОВГИЙ И.И. Особенности извлечения кобальта сорбентами, модифицированными краун-эффирами.....	52
АКИМОВ Д.В., ЕГОРОВ Н.Б. Изменение изотопного состава лития в процессе зонной перекристаллизации перхлората лития кристаллогидрата.....	53

АКИМОВ Д.В., ЕГОРОВ Н.Б. Изменение изотопного состава магния при многократной перекристаллизации.....	55
НОВОСЁЛОВ А.Б., АКИМОВ Д.В., ЕГОРОВ Н.Б. Очистка изотопнообогащенного свинца.....	57
КАРТАВЫХ А.А., ГУБАНОВ С.М., ЧУКАНОВ М.В. Исследование и оптимизация откачных систем разделительного производства.....	59
БАЛАШКОВ В.С., ВЕРГУН А.П., ДРОГАЛЕВ А.С. Разработка, оптимизация гибкой системы изотопного разделения включающей обменные и электрохроматографические процессы...	60
ДРОГАЛЕВ А.С., ВЕРГУН А.П., БАЛАШКОВ В.С. Моделирование и оптимизация процессов разделения изотопов и деионизация растворов электромембранными и обратноосмотическими методами.....	62
КАМЫТБАЕВА А.У., МЫШКИН В.Ф. Исследование приэлектродных процессов электролиза в магнитном поле.....	64
НЕЙМАН В.А., СЕМЧЕНКО И.С., МЫШКИН В.Ф. Расчет бетта-фактора соединений, находящихся во внешнем магнитном поле.....	66
ПЕРМИНОВ С.В., МЫШКИН В.Ф., ДАВЫДОВ Е.Ю. Разработка инженерных основ технологии очистки воды, сточных растворов, селективного извлечения ионов редкоземельных металлов и изотопов.....	68
ЛЕМЯКИН А.Э., ВИДЯЕВ Д.Г., МИРЗОЕВ С.Р. Установка для извлечения металлической ртути из ртутьсодержащих технологических шламов.....	70
ТЕСЛЕНОК А.В., ВИДЯЕВ Д.Г., ЛЕМЯКИН А.Э. Моделирование процесса обмена щелочных металлов и их изотопов в колонне для системы жидкость–жидкость.....	72

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

ЗУКАУ В.В., КАБАНОВ Д.В., ШАМАНИН И.В. Особенности получения радионуклида лютеций-177 на реакторе ИРТ-Т.....	76
РОДИОНОВ А.В., ЧИБИСОВ Е.В., НЕКЛЮДОВ А.А., МЕРКУЛОВ В.Г. Исследование выхода фосфора-32 в ядерной реакции $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$ на реакторе ИРТ-Т.....	77
АКИМОВ Д.В., ЕГОРОВ Н.Б., ЖУРАВЛЁВ Н.А. Получение изотопночистых кристаллов α -серы и исследование их свойств.....	79
АКИМОВ Д.В., ЕГОРОВ Н.Б., ИНДЫК Д.В. Получение изотопнообогащенного свинца из тетраметилсвинца.....	81
САДКИН В.Л., СКУРИДИН В.С., СТАСЮК Е.С., ВАРЛАМОВА Н.В., РОГОВ А.С., НЕСТЕРОВ Е.А., ИЛЬИНА Е.А, ЛАРИОНОВА Л.А. Синтез нанокolloидов основе оксида алюминия.....	83
РОГОВ А.С., СКУРИДИН В.С., СОЛДАТОВ Ю.И., ЗУКАУ В.В. Автоматизированный модуль получения радиоизотопа технеция – $^{99\text{m}}\text{Tc}$	84
РОГОВ А.С., СКУРИДИН В.С., СТАСЮК Е.С., ВАРЛАМОВА Н.В., САДКИН В.Л., ИЛЬИНА Е.А. Медико-биологические испытания нанокolloидного радиофармпрепарата на основе меченой технецием- $^{99\text{m}}$ модифицированной молекулы ДТПА.....	86
РОГОВ А.С., СКУРИДИН В.С., СТАСЮК Е.С., НЕСТЕРОВ Е.А., САДКИН В.Л. Факторы, влияющие на элюационные характеристики сорбционных генераторов технеция- $^{99\text{m}}$	87
ИЛЬИНА Е.А., СКУРИДИН В.С., СТАСЮК Е.С., РОГОВ А.С., НЕСТЕРОВ Е.А., САДКИН В.Л. Получение нового радиофармпрепарата на основе D-глюкозамина меченого технецием- $^{99\text{m}}$	89

ЛОБАНОВСКАЯ О.С. КОСТЫЛЕВ А.И. Применение полимерных материалов для фиксации радионуклидов в источниках ионизирующего излучения без жесткой геометрии.....	91
ОДИНЦОВ А.А., БОЕВА О.А. Применение реакции гомомолекулярного изотопного обмена водорода для изучения каталитических свойств наночастиц золота..	93
ГОДОВЫХ А.В., ЧЕРНОЗЕМ Р.В., УШАКОВ И.А., МЫШКИН В.Ф. Определение теплопроводности стали и алюминия в магнитном поле.....	95
ЕМЕЦ Е.Г., ВАРЛАЧЕВ В.А., ГОЛОВАЦКИЙ А.В. Радиационная модификация оптических свойств природных кристаллов на примере топазов.....	97
ГОЛОВАЦКИЙ А.В., ЕМЕЦ Е.Г., БУТЬКО Я.А., ВАРЛАЧЕВ В.А. Комплекс нейтронно-трансмутационного легирования слитков кремния на реакторе ИРТ-Т.....	99
СОЛОНЕНКО В.А., БУТОВ В.Г., ЯЦУК А.А. Получение диоксида урана высокотемпературным пиролизом обогащенного ГФУ.....	101
СОЛОНЕНКО В.А., БУТОВ В.Г., ЯЦУК А.А. Моделирование процесса пламенной денитрации раствора и плава уранилнитрата.....	102
ТУНДЕШЕВ Н.В., КАРЕНГИНА Г., ТЛЕУКЕНОВ Е.О., ТУРГАЛИ Б.К. Исследование и оптимизация процесса получения и спекаемости порошков UO_2	103
ШИЛОВА К.О., ИВАНОВ М.И., МАТЮШКИНА Ю.А., КЛЮЧНИКОВА Ю.О., РЫЖАКОВА Н.К. Анализ методов и результатов измерения выхода $Rn-222$ на участке застройки г. Томска.....	105

**Секция 5. ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ И ХРАНЕНИЯ
ОТХОДОВ ИЗОТОПНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

АУСЕНОВ К.Ж., ШАМАНИН И.В. Методические положения анализа эффективности строительства АЭС в условиях становления ядерной энергетики государства.....	108
ШАЙМЕРДЕНОВ А.А., ГИЗАТУЛИН Ш.Х., ЧЕКУШИНА Л.В., АРИМКИН Ф.М. Изменение конфигурации активной зоны исследовательского реактора ВВР-К с целью повышения энергонапряженности экспериментальных топливных сборок при их ресурсных испытаниях.....	109
КАБАНОВ Д.В., МЕРКУЛОВ В.Г., СТУЧЕБРОВ С.Г., СЕМЧЕНКО И.С. Экспериментальный канал шахтохранилища ОЯТ ИРТ – Т для проведения исследований в области радиационного материаловедения.....	111
КАРЕНГИН А.А., КАРЕНГИН А.Г. Моделирование кинетики процесса плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ в виде диспергированных горючих водно- органических композиций.....	112
ОРЕШКИН Е.А., НОВОСЕЛОВ И.Ю., ТУНДЕШЕВ Н.В., КАРЕНГИН А.Г. Плазменная утилизация и иммобилизация иловых отложений бассейнов хранилищ низкоактивных ЖРО.....	114
ПЕРМИНОВ С.В., МЫШКИН В.Ф. Электродиализ водных растворов в магнитном поле.....	116
ПОДГОРНАЯ О.Д., КАРЕНГИН А.А., НОВОСЕЛОВ И.Ю., КАРЕНГИН А.Г. Плазменная утилизация отходов переработки ОЯТ в воздушной плазме ВЧФ-разряда.....	118
ПЕРМИНОВ С.В., МЫШКИН В.Ф. Изучение физики воздействия магнитного поля на физико- химические процессы в электродиализной ячейке.....	120

ШЕХОВЦОВА А.П., КАРЕНГИН А.Г., ЛЮТЦ А.А. Исследование процесса плазменной утилизации отходов после очистки воды.....	122
ТУНДЕШЕВ Н.В., КАРЕНГИН А.Г., ПИУНОВА К.Г. Моделирование и оптимизация процесса плазменной утилизации иловых отложений бассейнов - хранилищ жидких радиоактивных отходов.....	124
ЗУБОВ В.В., КАРЕНГИН А.А., ТУНДЕШЕВ Н.В., КАРЕНГИН А.Г. Оценка возможности применения ВЧФ-плазмотронов для плазменной утилизации горючих отходов замкнутого ЯТЦ.....	126
ТЕМЕНКОВ В.С., КАСЕЙНОВА А.С., ТУРГАЛИ Б.К. КАРЕНГИН А.Г. Расчет и оптимизация процесса плазменной утилизации отработанных масел на основе ПХБ.....	128
НОВОСЕЛОВ И.Ю., КАРЕНГИН А.А., КАРЕНГИН А.Г. Плазменная утилизация горючих отходов переработки ядерного топлива замкнутого ЯТЦ.....	130
БАБИЧЕВА В.О., РОГОВА Н.С., КАБАНОВ Д.В., РЫЖАКОВА Н.К. Анализ пространственного распределения тяжелых металлов в приземном слое атмосферы в зоне влияния промышленных предприятий (на примере угольных ТЭЦ и алюминиевого завода).....	132

Секция 1

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

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

**О КРИТЕРИЯХ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЦИРКУЛЯЦИИ В ГЦ С
РАЗЛИЧНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ РАЗМЕРАМИ**

Яценко Д.В.

Научные руководители: Борисевич В.Д., Годисов О.Н.
ЗАО «Центротех-СПб», 198097, Россия, г. Санкт-Петербург, пр.
Стачек д.47

E-mail: ntz@centrotech.ru

Современные газовые центрифуги для обогащения урана (ГЦ), работающие в разных странах мира, имеют много общих базовых элементов, но при этом отличаются геометрическими параметрами ротора и скоростью его вращения. Основной характеристикой ГЦ является ее разделительная способность, зависящая от скорости его вращения, длины и диаметра ротора, а также других элементов конструкции и характеристик процесса, обеспечивающих оптимальные условия создания осевого противоточного течения (циркуляции), умножающего в осевом направлении радиальный эффект разделения.

В докладе обсуждаются различные критерии, с помощью которых оценивают эффективность циркуляции в ГЦ и проводится их сравнение применительно к ГЦ с различными типоразмерами и скоростью вращения ротора. Показано, что зависимость разделительная способность одиночной ГЦ при больших скоростях вращения ротора может быть описана обобщённой формулой

$$\delta U = A_0 (V_a^2 \cdot L)^n,$$

где A_0 – константа;

V_a и L - скорость вращения ротора и его длина соответственно;

n – параметр, зависящий от эффективности циркуляции.

Расчеты показывают, что зависимость степени оптимизации циркуляционного течения в ГЦ от безразмерной скорости вращения ротора имеет максимум, что связано с трудностями организации осевого противоточного течения в тонком слое вязкого газа на стенке ротора при больших скоростях вращения.

**ЗАВИСИМОСТЬ ОПТИМАЛЬНОЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ
СПОСОБНОСТИ ГАЗОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ ОТ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
И СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА**

Кислов В.А., Тронин И.В.

Научный руководитель: Боговалов С.В., д.ф.м.н., профессор
Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»,
115409, Россия, г. Москва, Каширское ш., 31
E-mail: VAKislov@mephi.ru

В работе изучается применимость полуэмпирической формулы для определения оптимальной разделительной способности, полученной для газовых центрифуг с длиной ротора до 1 метра, для роторов с длиной выше 1 метра [1-2]. С помощью численного моделирования процессов газовой динамики и разделения изотопной смеси в газовой центрифуге, и последующей оптимизации разделительной способности, получена формула для оптимальной разделительной способности, приведенная в работах [1-2]. Разделительная способность линейно растет с длиной ротора, что согласуется с формулой Дирака [3]. Тем не менее, для роторов с длиной выше 2 метров наблюдается тенденция к понижению удельной разделительной способности. Оптимальная разделительная способность газовой центрифуги квадратично растет с увеличением скорости вращения ротора. Ни одна из существующих моделей газовых центрифуг не дает такой зависимости, включая модель Дирака [3], которая предсказывает четвертую степень зависимости оптимальной разделительной способности от скорости вращения ротора. Проведено сравнение численных расчетов с известными разделительными способностями центрифуг URENCO [4-6], которое показало, что предложенная формула применима для центрифуг с длиной до 5 метров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Senchenkov, A.P.; Senchenkov, S.A.; Borisevich, V.D. (2005) Gas centrifuges. In: ISOTOPEs. Properties. Production. Application. Ed., Baranov, V. Yu., Fizmatlit: Moscow, Vol. 1: 168–208 (in Russian).
2. Andronov, I.N.; Grigoriev, G.Yu.; Vyazovetskiy, Yu.V.; Senchenkov, A.P.; Senchenkov, S.A. (1999) Comparative technical and economic characteristics of different types of gas centrifuges, Proc. 4th Russian Conference “Physical and Chemical Processes on Selection of Atoms and Molecules”, CNIIAtominform: pp. 71–78 (in Russian).
3. Cohen, K. (1951) The Theory of Isotope Separation as Applied to the Large-Scale Production of U235; McGraw-Hill: New York.

4. Glaser, A. (2008) Characteristics of the gas centrifuge for uranium enrichment and their relevance for nuclear weapon proliferation. *Sci. Glob. Security*, 16 (1–2): 1–26.
5. Van Namen, R. (2010) Enrichment market overview, Talk presented at the World Nuclear University Summer Institute, Christ Church, Oxford UK, July 12.
6. Harding, P. (2012) Revolution in enrichment. Presentation to the European Nuclear Conference, Manchester, UK, December 11.

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ: ПО СЛЕДАМ ДИРАКА

Гадельшин В.М., Палкин В.А.

Научные руководители: Селезнёв В.Д., д.ф.-м.н., профессор;
Александров О.Е., к.ф.-м.н., доцент

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

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19

E-mail: gadelshinvm@mail.ru

Более чем 60 лет назад Поль Адриен Морис Дирак разработал теорию разделения бинарных смесей и ввёл две ключевые концепции данной теории – разделительный потенциал и разделительная способность. Эти концепции стали универсальными и общепризнанными характеристиками разделительного процесса бинарных смесей. Однако, с тех пор никто так и не смог представить столь же успешную теорию для случая разделения многокомпонентных смесей.

Основная идея данной работы заключается в том, что разделение многокомпонентных смесей может и должно быть описано по аналогии со случаем разделения бинарных смесей. Отсутствие первичной концепции идеального каскада для многокомпонентной смеси не является непреодолимой проблемой, и это может быть показано на примере несмешивающего «идеального» каскада разделительных элементов с тремя отборами с последующим обобщением на случай произвольного числа отборов [1].

В этом докладе представлены формулы для разделительного потенциала (1) и разделительной способности, которые были получены для случая многокомпонентного разделения:

$$V(C_1, C_2, \dots, C_n) = \sum_{N=1}^n (2C_N - 1) \ln \left(\frac{C_N}{1 - C_N} \right). \quad (1)$$

Эти формулы были введены без рассмотрения определённой схемы каскада, путём обобщения классической теории Дирака, т.е. при условии выполнения обеих его аксиом и методом разложения в ряд. Более того, формула для разделительного потенциала и его свойства могут быть также продемонстрированы через рассмотрение молекулярно-кинетической модели разделительного процесса [2].

Совпадение результатов различных методов введение разделительного потенциала, применимость к любым методам разделения и независимость от вида компонентов смеси позволяют рассматривать полученные выражения в качестве основных характеристик разделительного процесса. Они обеспечивают возможность рассчитать минимальные затраты энергии на процесс разделения до произвольной концентрации смеси, оценить требуемое количество разделительных элементов в соответствующем идеальном каскада, и могут быть использованы как основа для введения единой системы ценообразования на продукты многокомпонентного разделения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Александров О.Е., Гадельшин В.М. Многокомпонентный разделительный потенциал. Элементарная кинетическая теория // Инженерно-физический журнал №5 (86), 2013. – стр. 1140-1147.

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА ЗАВОДА РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ОАО «СХК»

Тимченко С.Н.¹, Сидоренко В.С.²

Научный руководитель: Орлов А.А.¹, д.т.н., профессор

¹Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.

Томск, пр. Ленина, 30

²Австралия

E-mail: orlovaa@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 центрифужного 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. Многочленные 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.

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ФТОРИСТОГО ВОДОРОДА В ОБЛАСТИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Дурновцев М. И.¹, Губанов С. М.², Чуканов М.В.²

Научный руководитель: Крайнов А.Ю.², д.ф.-м.н, доцент

¹ОАО «СХК», г. Северск, ул. Курчатова, 1

²Томский государственный университет, 634050, Россия,
г. Томск, пр.Ленина, 30

E-mail: maxxd@inbox.ru

Для десублимации фтористого водорода из газовой смеси с воздухом в производстве используются специальные осадители, охлаждаемые жидким азотом до температуры 77 К. Степень проскока фтористого водорода через осадители определяется, в основном, давлением его насыщенных паров при температуре охлаждения стенки осадителя. С целью снижения затрат на охлаждение осадителей предлагается использовать в качестве хладагента вместо жидкого азота холодный воздух с температурой от 113 до 143 К. Для оценки увеличения проскока фтористого водорода через осадители необходимо знать давление насыщенных паров при температурах холодного воздуха.

Анализ научно-технических источников показывает, что данные, полученные экспериментальным путем, по давлению насыщенных паров фтористого водорода при температуре ниже 193 К отсутствуют. При этом в [1] приведены экспериментальные данные, с соответствующим уравнением только в интервале температур от 273 до 378 К. Для измерения давления насыщенных паров безводного фтористого водорода при температурах от 77 до 223 К была разработана и изготовлена экспериментальная установка.

Экспериментальная установка состоит из перевернутого вверх дном осадителя, используемого в производстве, помещенного в специально разработанный отсек охлаждения. Отсек охлаждения имеет два патрубка для подачи и отбора холодного воздуха. Для организации равномерного течения холодного воздуха вдоль стенки осадителя изготовлена напайка из стальной ленты в виде серпантина. В верхней части отсека охлаждения предусмотрена горловина для заливки жидкого азота. Для минимизации теплопоступления отсек охлаждения теплоизолирован. Осадитель имеет два патрубка, через один из которых подается безводный фтористый водород. Ко второму патрубку подключены приборы контроля давления и система вакуумирования установки.

Экспериментальная установка вакуумирована до давления не более 50 мкм рт.ст. и проверена на вакуумную плотность. Путем трехкратного напуска и откачки безводного фтористого водорода в установку пропассивированы внутренние поверхности установки.

При проведении эксперимента по измерению давления насыщенных паров фтористого водорода в отсек охлаждения подавался холодный воздух с температурой 223 К от турбодетандерной воздушно-холодильной машины ВХМ 0,56/0,6. В заоложенный осадитель установки напускался безводный фтористый водород. После выдержки в течение часа фиксировалось давление в осадителе, температура холодного воздуха на входе и выходе из воздушно-холодильной машины ВХМ 0,56/0,6. Далее температура холодного воздуха ступенчато снижалась с шагом в 10 К и после выдержки в течение часа фиксировалось давление в осадителе.

Измерения давления насыщенных паров фтористого водорода в интервале температур от 93 до 223 К производились при охлаждении осадителя холодным воздухом. Для измерения давления насыщенных паров при температуре 77 К, в отсек охлаждения через специальную горловину заливался жидкий азот.

В ходе проведения эксперимента была получена экспериментальная зависимость давления насыщенных паров безводного фтористого

водорода в интервале температур от 77 от 223 К.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рысс И.Г. Химия фтора и его неорганических фторидов. - М.: Химия, 1956. - 719 с.

СВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК СПЕКТРА СИГНАЛА ДАТЧИКА ОБОРОТОВ С ПРОЦЕССОМ ОБРАЗОВАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ РОТОРА ГАЗОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ

Коваленко Д.С.¹, Левчук Р.В.¹

Научный руководитель: Орлов А.А.², д.т.н., профессор

¹ОАО «СХК», г. Северск, ул. Курчатова, 1

²Томский 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 [3].

Существенным недостатком вибрационного метода является низкая точность измерений, т.к. датчики крепятся на некотором удалении от объекта измерения либо располагаются в непосредственной близости от него без крепежных устройств [4].

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 оборотов имеет очень сложную форму, для того чтобы обойти ограничения анализа во временной области необходимо применять анализ сигнала в частотной области – спектральный анализ [5].

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 течении 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 проведённой 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.

3. Зайцев Е.С., Домненко А.И., В.Г. Астафуров Определение радиального биения ротора о сигналу с датчика вращения // Известия ТПУ. 2012. Т. 321. № 2. – С. 31.
4. Белослудцева Е.К., Воробьев С.А., Ивакин В.А. Способ определения колебаний вращающегося ротора, патент РФ №2180435, кл. В04В 9/14, 1999.
5. Петрухин В.В., Петрухин С. В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации.- Москва: Издательство инфра-инженерия.- С. 26.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ UF₆ В ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ЕМКОСТИ

Малюгин Р.В., Цимбалюк А.Ф.

Научный руководитель: Орлов А.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.
Ленина, 30

E-mail: malyugin@tpu.ru

Модернизация конденсационно-испарительных установок на предприятиях по разделению изотопов урана требует наличия математической модели процессов тепло- и массообмена, происходящих при десублимации и обусловлена требованиями производства. Такая модель позволит снизить эксплуатационные затраты и повысить энергоэффективность работы коллекторов отбора и отвала. Наличие математической модели процесса может быть полезно при выборе хладагента, способа охлаждения емкостей и решении проблемы их максимального заполнения UF₆ [1].

В работе рассматривалась металлическая цилиндрическая емкость Б-12 со скругленными образующими крышки и основания, которая для охлаждения помещалась в дьюар, заполненный хладагентом. Емкость термостабилизировалась до температуры -20°C, в качестве хладагента использовался насыщенный раствор CaCl₂.

Поток газа поступал в технологическую емкость через круглое отверстие в верхней части. Считалось, что тепловой поток от газа к хладагенту проходит через двухслойную поверхность – материал стенки емкости и образовавшийся слой десублимата. Для описания тепловых процессов на внутренней теплообменной поверхности (задача Стефана) использовалось двумерное уравнение теплопроводности с учетом подвижной внутренней границы. Предполагалось, что толщина десублимата в начальный момент равна нулю и увеличивается с течением времени.

На внутренней поверхности теплообмена принималось граничное условие 3-го рода с учетом выделения UF_6 скрытой теплоты десублимации при фазовом переходе. На внешней поверхности в местах погружения технологической емкости в рассол использовалось граничное условие 1-го рода, а на свободной поверхности, где происходит теплообмен с воздухом – граничные условия 3-го рода. Область внутри технологической емкости разбивалась сеткой на расчетные ячейки, при этом фазовый переход UF_6 в твердое состояние учитывался наличием источников члена дифференциального уравнения энергии в ячейке, примыкающей в начальный момент времени к поверхности теплообмена, а далее – к границе раздела фаз. Для численного решения дифференциального уравнения теплопроводности использовался итерационно-интерполяционный метод [2] с неявной аппроксимацией второй производной.

На основании литературных данных [3, 4] предполагалось, что свойства газообразного UF_6 близки к свойствам идеального газа и для описания его состояния использовалась модель политропного газа с постоянным показателем адиабаты. Моделирование движения газа в технологической емкости основывалось на законах сохранения массы, импульса и энергии. На входе в емкость задавались постоянные значения энтальпии и энтропии, на стенках принималось условие непротекания. Численное решение системы уравнений, описывающих движение газа, получалось с использованием метода С.К. Годунова [5].

Полученная математическая модель процесса десублимации реализована в виде пакета прикладных программ с дружественным к пользователю графическим интерфейсом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильнина А.В. Экспериментальное исследование процесса десублимации от длительности цикла захлаживания / А.В. Вильнина, В.Ф. Дядик, С.А. Байдали и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 2. – С. 91–93.
2. Итерационно-интерполяционный метод и его приложения / А.М. Гришин, В.И. Зинченко, К.Н. Ефимов и др. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2004. – 318 с.
3. Химия урана: уран как элемент, его бинарные соединения, гидраты окислов и оксигалогениды / Дж. Кац, Е. Рабинович. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1954. – 492 с.
4. Введение в химическую технологию урана: учебник для вузов / Б.В. Громов. – М.: Атомиздат, 1978. – 336 с.

5. Численное решение многомерных задач газовой динамики / С.К. Годунов, А.В. Забродин, М.Я. Иванов и др. – М.: Наука, 1976. – 400 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ЕМКостей ПРИ ДЕСУБЛИМАЦИИ UF_6 НА ИХ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Малюгин Р.В., Цимбалюк А.Ф.

Научный руководитель: Орлов А.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.
Ленина, 30

E-mail: malyugin@tpu.ru

В настоящее время происходит модернизация разделительных предприятий. Отработавшие свой ресурс газовые центрифуги заменяются на современные, более производительные. В связи с модернизацией основного технологического оборудования возникает необходимость разработки и проектирования конденсационно–испарительных установок (КИУ) большей производительности. При проектировании установок КИУ желательна наличие математической модели процесса десублимации UF_6 в основных транспортных емкостях.

Имеется несколько подходов к моделированию процесса десублимации газовых смесей. Кратко их можно разделить на две группы: «тепловой» подход, когда процесс, определяется теплообменом газа с поверхностью конденсации [1, 2] (решается задача Стефана), и «диффузионный», когда процесс определяется диффузионным обменом между поверхностью конденсации и газом [3].

В случае «теплого» подхода решается система уравнений, состоящая из уравнения теплопроводности и законов сохранения массы, импульса и энергии. Большое значение при этом имеет величина коэффициента теплопроводности образующейся твердой фазы, которая определяет скорость отвода тепла, выделяющегося при фазовом переходе.

Во втором подходе вводится понятие пограничного слоя, присутствующего около поверхности раздела фаз. Сам процесс десублимации в этом случае характеризуется величиной коэффициента диффузии, который и определяет интенсивность происходящего процесса.

Нами был использован первый подход при рассмотрении одномерной задачи теплообмена газообразного гексафторида урана с многослойной

пластиной (материал стенки емкости и слой десублимата), имеющей подвижную внутреннюю границу. На наружной стенке емкости, контактирующей с хладагентом, выставлялись различные граничные условия. Для численного решения системы уравнений, описывающих процесс десублимации, был использован итерационно-интерполяционный метод [4].

На следующем этапе планируется произвести подробное численное исследование и сравнение имеющихся подходов к математическому моделированию процесса десублимации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Задача Стефана / А.М. Мейрманов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 240 с.
2. Математическое моделирование процесса десублимации UF_6 . / Орлов А.А., Кошелев С.М., Вандышев В.И. и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 3. – С. 89–92.
3. Десублимация к химической промышленности / А.Г. Горелик, А.В. Амитин – М.: Химия, 1986. – 272 с.
4. Итерационно-интерполяционный метод и его приложения / А.М. Гришин, В.И. Зинченко, К.Н. Ефимов и др. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2004. – 318 с.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПРОИЗВОДСТВА ПО ОБОГАЩЕНИЮ УРАНА

Орехов Д.В.¹, Лебедев А.Я.², Кузнецов П.Г.¹

Научный руководитель: Орлов А.А.¹, д.т.н., профессор

¹Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.

Томск, пр. Ленина, 30

²ОАО «ПО «ЭХЗ», г. Зеленогорск,

ул. Первая промышленная, 1

E-mail: orlova@tpu.ru

При формировании производственной программы разделительного производства основными ориентирами являются потенциальные и фактические возможности предприятия: производственная мощность; изотопные концентрации, объемы и цена сырья; изотопная концентрация отвала завода; чистота товарного продукта.

Очевидно, что для решения задачи планирования производственной программы разделительного завода по обогащению урана целесообразно создать некую модель, которая позволяла бы составить

оптимальный график загрузки производственных мощностей и экономного расхода сырья.

Цель создания модели планирования производственной программы разделительного завода по обогащению урана заключалась в построении графика расхода сырья и наработки товарных продуктов при разделении бинарной смеси, оптимального с точки зрения критериев качества. Используемые на разделительном производстве критерии качества можно разделить на два вида: 1) когда заданы директивные сроки наработки продуктов, 2) когда эти сроки не заданы.

К первому виду относятся критерии являющиеся функциями заданных сроков готовности: 1) минимизация суммарного или максимального отставания от заданных сроков; 2) минимизация издержек связанных с невыполнением работы в срок; 3) минимизация числа отстающих работ.

Критерии второго вида зависят от общей продолжительности наработки товаров: 1) минимизация продолжительности календарного графика; 2) минимизация простоев оборудования и количества технологических переходов на выпуск товаров разных концентраций; 3) максимальность показателя использования оборудования.

Разработана модель планирования производственной программы разделительного завода по обогащению урана, позволяющая создавать оптимальный график расхода сырья и загрузки производственных мощностей при разделении бинарной смеси. В результате расчетов по данной модели (как по первому, так и по второму типам критериев оптимальности) показано, что при работе на оптимальной концентрации отвала, сырье с большей концентрацией (например, природное или регенерированное по отношению к сырью с меньшей концентрацией порядка 0,4%) лучше использовать в самом конце планового периода. Заставить отклониться от этой стратегии может только нехватка разделительной мощности для выполнения появившихся во время планового периода контрактов или резкое возрастание стоимости природного сырья.

Следующим шагом в создании модели планирования производственной программы разделительного завода по обогащению урана будет учет в ней экономических критериев оптимальности и преобразование модели для многокомпонентных смесей, чтобы при планировании качества продукции учесть чистоту товарного продукта по примесным изотопам ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевелёв Я.В., Клименко А.В. Эффективная экономика ядерного топливного энергетического комплекса. М.: РГТУ, 1996. – 736 с.
2. Коэн К. Разделение изотопов // В сб.: Научные и технические основы ядерной энергетики. Под ред. К. Гудмена. Т.2. М.: Издательство иностранной литературы, 1950.
3. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1976. – 392 с.
4. Обогащение урана. Под. Ред. С. Виллани. Пер. с англ. под. ред. И.К. Кикоина. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ УРАНА В ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ

Кравченко А.В.¹, Лебедев А.Я.², Титов Е.С.¹

Научный руководитель: Орлов А.А.¹, д.т.н., профессор

¹Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.

Томск, пр. Ленина, 30

²ОАО «ПО «ЭХЗ», г. Зеленогорск,

ул. Первая промышленная, 1

E-mail: orlova@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.

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

СПИНОВАЯ СЕПАРАЦИЯ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Ушаков И.А., Ижойкин Д.А.

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

E-mail: izhoykinda@tpu.ru

Широкое распространение сферы применения изотопов требует разработки инновационных методов их сепарации. Интерес к высокочастотной плазме для разделения изотопов различных элементов, определяется ее неравновесностью. Нами проводятся исследования процесса изотопного перераспределения в реакции окисления атомарного углерода в плазме высокочастотного факельного разряда [1]. Для экспериментальных исследований использован стенд, схема которого приведена на рисунке 1. Цифрами обозначены: 1 – ВЧ генератор, 2 – графитовый электрод, 3 – плазмохимический реактор, 4 – система формирования газовой смеси, 5 – термический окислитель, 6 – кислородный баллон, 7 – теплообменник, 8 – буферный объем, 9 – азотная ловушка, 10 – ротаметр, 11 – пробоотборник.

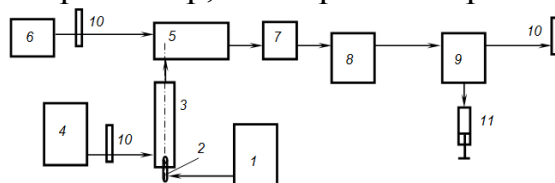


Рисунок 1 – Принципиальная схема плазмохимического стенда

Перед возбуждением разряда устанавливали магниты на заданных точках вдоль оси плазменного реактора. Использовались два типа постоянных магнитов: 1,2 Тл и 0,2 Тл. Магниты устанавливались перпендикулярно потоку разноименными полюсами друг к другу.

Высоковольтное напряжение от ВЧ генератора прикладывалось к графитовому расходуемому электроду. ВЧ ток и плазменный поток разогревали графитовый электрод, который начинал испаряться. В плазмохимический реактор подавалась плазмообразующая смесь $\text{Ar} + \text{O}_2$.

Экспериментальные данные о содержании ^{13}C в моноокиси углерода, в зависимости от расстояния от точки отрыва плазменного факела от электрода до центра магнитного поля, приведены на рисунке 2.

При использовании магнитов с индуктивностью 0,2 Тл содержание ^{13}C в газовой фазе продуктов реакции может достигать 1,41 %, что соответствует однократному коэффициенту разделения $\approx 1,28$. При

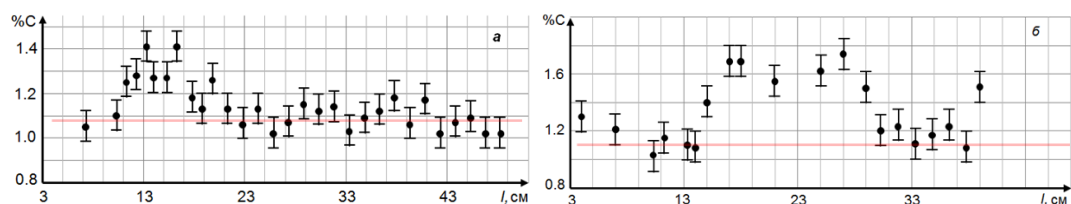


Рисунок 2 – Содержание изотопа ^{13}C в CO при окислении углерода в магнитном поле в ВЧФ-разряде.

а) 0,2 Тл; б) 1,2 Тл

использовании магнитов с индуктивностью 1,2 Тл содержание ^{13}C в газовых продуктах реакции достигает 1,78 %. Однократный коэффициент разделения в этом случае равен 1,63.

Различие достигаемых результатов, по нашему мнению, является следствием различной величины магнитного поля. Это приводит к различным частотам прецессии спинов неспаренных электронов РП с разными изотопами углерода. При этом реакционная способность таких РП будет различна, что приводит к различному содержанию изотопов в продуктах реакции. График зависимости содержания ^{13}C в газовых продуктах реакции от расстояния от электрода до области расположения магнитов поля имеет область максимума.

Экспериментально полученные значения концентрации ^{13}C в продуктах неполного окисления паров углерода во внешнем магнитном поле меньше, чем получается в результате моделирования процессов окисления и конденсации, с учетом парамагнитных явлений в магнитном поле. Уменьшение коэффициента разделения, относительно теоретического значения, связано с неизбирательным окислением при контакте сажи и угарного газа в диффузной оболочке ВЧФ-разряда. Избирательность окисления также уменьшается из-за сложности контроля подачи малых количеств окислителя (менее 0,1% по объему от количества аргона).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОКИСЛЕНИИ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Ушаков И.А., Ижойкин Д.А.

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

E-mail: izhoykinda@tpu.ru

Нами проводятся исследования влияния магнитного поля на изотопный состав углерода в продуктах реакции окисления атомарного углерода в низкотемпературной плазме Ar и He с примесями кислорода.

В магнитном поле происходит прецессия спина неспаренного электрона. С точки зрения динамики спина валентных электронов C и O существенны: напряженность внешнего магнитного поля, частоты столкновений между собой ^3He , ^{13}C , ^{12}C , O, O₂ концентрации которых в ВЧФ-разряде в Ar–He плазмообразующей смеси в условиях проведения экспериментальных исследований сопоставимы.

Согласно молекулярно-кинетической теории газов частота столкновения одной пробной частицы типа 1 с частицами типа 2 с концентрацией n_{02} (радиусами r_{01} и r_{02}) [1]:

$$v_{12} = \sqrt{8\pi RT \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)} (r_{01} + r_{02})^2 n_{02}. \quad (1)$$

В плазменной кинетике необходимо учитывать вклад различных возбужденных состояний реагентов. Уравнение Больцмана для распределения атомов по возбужденным электронным состояниям:

$$N_j = \frac{\gamma_j}{\gamma_i} N_i \exp\left(-\frac{E_j - E_i}{kT}\right). \quad (2)$$

В результате теплового движения атомы и молекулы сталкиваются хаотично. В плазменных процессах в магнитном поле, при каждом столкновении из газовой фазы будет исчезать часть атомов углерода и кислорода (с образованием молекулы угарного газа), образующих синглетные пары валентных электронов. При первичном столкновении с равномерным распределением фаз прецессии спинов в пространстве исчезает часть радикалов, обладающих разными скоростями теплового движения, всех возможных энергетических состояний с равной вероятностью. При следующем столкновении реагенты, частота столкновения которых кратна разности частот парамагнитных резонансов радикалов, будут меньше образовывать синглетные пары спинов валентных электронов. Такие радикалы будут реже образовывать химическую связь.

Восстановление равновесного пространственного распределения радикалов по фазам прецессии спинов их электронов происходит, например, из-за столкновения с атомами инертного газа по закону [2]:

$$S(t) = S(0) \exp(-t/\tau_2), \quad (3)$$

где τ_2 – время релаксации фаз прецессии спинов (спин-спиновая релаксация).

Энергетический сдвиг в магнитном поле между спиновыми состояниями валентного электрона радикала, определяющий частоту прецессии спина ω :

$$\Delta E = \hbar\omega = g\mu_B(H + a), \quad (4)$$

где ω – частота прецессии спина валентного электрона, \hbar – постоянная Планка, H – напряженность магнитного поля, a – постоянная сверхтонкого взаимодействия, g – фактор спектроскопического расщепления, $\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл – электронный магнетон Бора.

Необходимо учитывать столкновения радикалов O и C, участвующих в процессе окисления, в возбужденных состояниях выше энергии активации реакции. В модели сепарации изотопов предполагали следующее: для преимущественного выделения ^{12}C в конденсированную фазу необходимо, чтобы средняя частота столкновений (O + O₂) и ^{12}C была кратна разности парамагнитных частот наиболее химически активных возбужденных состояний указанных реагентов, с учетом их концентраций. При этом скорость процесса окисления изотопа ^{12}C уменьшается, что при охлаждении плазмы приводит к его преимущественной конденсации.

Изотоп ^{13}C имеет парамагнитное ядро со спином 0,5. Поэтому частоты прецессии во внешнем магнитном поле спинов валентных электронов ^{12}C и ^{13}C отличаются. ^{13}C также будет частично окисляться из-за максвелловского распределения по скоростям, обеспечивающего части радикалов благоприятные условия, с точки зрения динамики спина валентного электрона между столкновениями, для образования химической связи. Для химической кинетики вклад радикалов ^{17}O и ^{18}O в окисление незначителен из-за малого их количества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: учебное пособие. –М.: Высшая школа, 1981. – 400 с.
2. Myshkin V.F., Vlasov V.A., Izhoikin D.A., Ushakov I.A., Khan V.A. The Investigation of Carbon Oxidation in Gas–Discharge Plasma under External Magnetic Field, Proceedings of 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2012), Tomsk, 2012. – pp. 389-393.

ВЫБОР ОКИСЛИТЕЛЯ ДЛЯ СПИНОВОЙ СЕПАРАЦИИ ИЗОТОПОВ В ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

И.А. Ушаков., Д.А. Ижойкин.

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 широкое применение. Например, плазмохимическая технология используется для травления поверхности изделий, получения тонких пленок из неорганических материалов. Возможности плазменных технологий в настоящее время используются не в полной мере.

Значительная доля частиц в низкотемпературной плазме представлено радикалами. Воздействие на спины неспаренных электронов радикалов с помощью магнитного поля может приводить к изменению физико-химических процессов [1]. При этом также изменяются соотношения скоростей протекания химических реакций с разными изотопами. Мы изучали влияние окислителя на процесс спиновой сепарации изотопов углерода в плазме высокочастотного факельного разряда. Схема стенда для проведения экспериментальных исследований приведена на рис. 1.

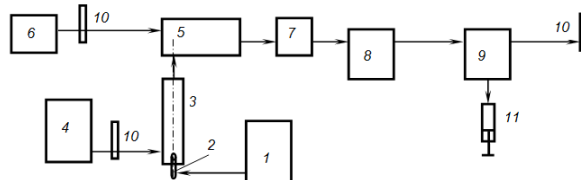
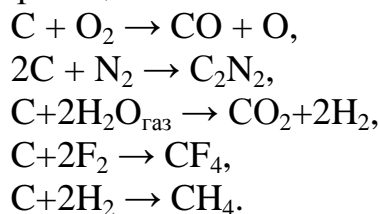


Рисунок 1 – Принципиальная схема плазмохимического стенда

1 – ВЧ генератор, 2 – графит, 3 – реактор, 4 – генератор газовой смеси, 5 – термический окислитель, 6 – кислородный баллон, 7 – теплообменник, 8 – буферный объем, 9 – азотная ловушка, 10 – ротаметр, 11 – пробоотборник.

В качестве окислителя при плазменном окислении углерода могут быть использованы кислород, азот, водород или пары воды. При этом будут протекать следующие реакции окисления:



Очевидно, что указанные реакции протекают в несколько стадий. Также следует учитывать то, что молекулы в условиях низкотемпературной плазмы диссоциируют. Для оценки соотношения молекулярного и атомарного форм при выборе окислителя проводили термодинамический расчет равновесного состава частиц в низкотемпературной плазме. Результаты расчетов для некоторых окислителей приведены на рис.2.

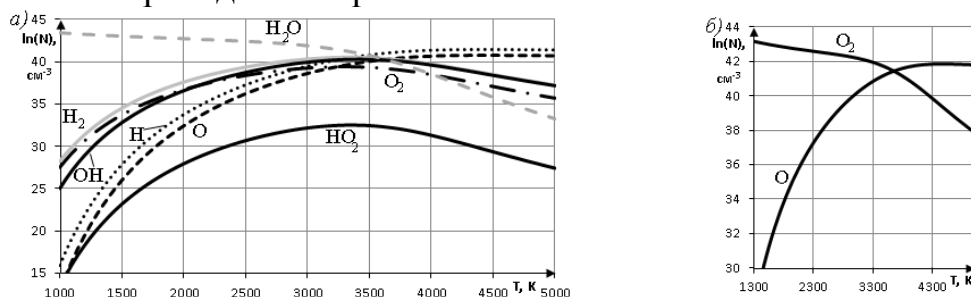


Рисунок 2 – Равновесный состав газовых смесей: а - Ar-C-H₂O, б - Ar-C-O₂

Выбор окислителя связан с возможностью контроля состава, как плазмообразующей смеси, так и в условиях плазмы. При использовании в качестве окислителя азота и фтора усложняется система отбора, в связи с необходимостью тщательного сбора и удаления из лаборатории продуктов реакции. В качестве окислителя выбран газообразный кислород. Для селективного по изотопам окисления углерода наиболее приемлема смесь, содержащая плазмообразующий газ (Ar/He) и $\text{C:O}_2 = 1:1$ (рис. 2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

ИЗМЕРЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ГЕРМАНИЯ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ

Поповцев Е.Е., Басков В.Г., Кидямкин А.В., Марочкина У.М.

Научный руководитель: Скориков А.И., зам. начальника
Центральной лаборатории комбината

ФГУП «Комбинат «Электрохиприбор», 624200, г. Лесной
Свердловской обл., Коммунистический проспект, 6-а

egor_popovcev@mail.ru

Опыт эксплуатации прибора МИ 1201 Т с двухленточным источником барабанного типа свидетельствует о лучшей стабильности во времени ионных токов трудноионизируемых элементов по сравнению с одноленточным источником. Однако это улучшение не настолько значительно, чтобы считать его явным преимуществом данного источника. С его помощью удавалось перевести на термическую ионизацию такие элементы, как Fe, Ge, Sn, Hf, которые долгое время не могли анализироваться иначе, как, с использованием ионизации электронным ударом.

В 1969 г. в Центральной лаборатории комбината «Электрохимприбор» была разработана методика измерения изотопного состава германия методом электронной ионизации на масс-спектрометре МИ 1305. В качестве рабочего вещества использовался BaGeF_6 . Методика усложнялась приготовлением рабочего вещества. Еще один недостаток – количество рабочего вещества для проведения одного измерения составляло 20 мг.

В 90-х гг. измерение изотопного состава германия проводили методом поверхностной ионизации на масс-спектрометре МИ 1201 Т. Для измерения использовали керамическую трубку с проволочным нагревателем, выполняющую роль керна, на который наносился соответствующий оксид. С помощью таких эмиттеров для германия удавалось получать ионные пики, однако их использование для изотопного анализа затруднено. Во-первых, затянутые хвосты пиков сильно ухудшают их разрешение. Во-вторых, при работе эмиттера возникают посторонние пики, часто с нецелочисленными массами, что лишает данный способ преимущества перед электронной ионизацией – чистоты масс-спектра.

В настоящее время изотопный состав германия продолжают измерять методом электронной ионизации из газовой фазы.

В данной работе предлагается способ измерения изотопного состава германия методом поверхностной ионизации на масс-

спектрометре МИ 1201 Т, с использованием рениевых и вольфрамо-рениевых эмиттеров. В качестве рабочего вещества предлагается использовать диоксид германия (GeO_2).

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ИЗОТОПНООБОГАЩЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ В
ИЗОТОПНООБОГАЩЕННЫХ ПРЕПАРАТАХ, ПОЛУЧЕННЫХ
НА УСТАНОВКЕ СУ-20**

Поповцев Е.Е., Басков В.Г., Кидямкин А.В., Марочкина У.М.

Научный руководитель: Скориков А.И., зам. начальника

Центральной лаборатории комбината

ФГУП «Комбинат «Электрохиприбор», 624200, г. Лесной

Свердловской обл., Коммунистический проспект, 6-а

egor_popovcev@mail.ru

Комбинат «Электрохиприбор» является одним из основных производителей и поставщиков стабильных изотопов. Контроль содержания примесей является неотъемлемой частью технологического процесса разделения изотопов и осуществляется в Центральной лаборатории комбината.

При электромагнитном разделении в каждый из приемных карманов приходят ионы не только получаемого элемента, но и соседних элементов, что приводит к разбавлению обогащаемого изотопа изобарами других элементов.

В качестве примера рассмотрим обогащение иттербия по изотопу Yb-176 . В случае обогащения иттербия по изотопу 176 вместе с ним обогащается лютеций по изотопу 176 из примеси, находящейся в рабочем веществе. У лютеция два изотопа и только одна масса (Lu-175) не имеет наложений для измерения методом масс-спектрометрии. Если учесть эти факторы, то при измененном изотопном составе лютеция методом масс-спектрометрии сложно определить содержание лютеция в иттербии, поскольку 176 масса лютеция не может быть определена из 175 массы по изотопному соотношению, характерному для природного лютеция.

На данный момент не существует масс-спектрометра, имеющего достаточной разрешающей способности для разделения при анализе изобар лютеция и иттербия. В методе оптико-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой детектирование происходит не по массам, а по длинам волн, характерным для каждого

химического элемента. Поэтому совместное использование масс-спектрометрических и оптико-эмиссионных методов позволяет решить задачу корректного определения содержания лютеция в иттербии.

В представленной работе реализуется способ измерения массовой доли лютеция в препаратах иттербия методом ИСП-ОЭС, представлен ряд экспериментов и результаты измерений изотопнообогатенных партий иттербия-176.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА ПО ИОНАМ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Рамазанова К.М.¹

Научный руководитель: Мышкин В.Ф.², д.ф.-м.н., профессор

¹Государственный университет им. Шакарима, Республика
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А

²Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30

E-mail: gos100@list.ru

Электродиализ представляет собой комбинированный метод, в котором сочетаются электролиз и диализ. Электродиализ находит широкое применение при очистке воды, концентрировании растворов, извлечении ионов из водных растворов. Поэтому разработка методов очистки воды и селективного извлечения ионов из технологических растворов для создания безотходных технологий актуально.

Цель работы: поиск методов увеличения селективности извлечение ионов методом электродиализа.

Изучению влияния магнитного поля на водные системы посвящено множество работ [1-4]. Установлено, что магнитное поле влияет на образование и распад кластеров воды, растворимость солей жесткости, а также на электролиз за счет действия на электромиграцию ионов.

Наиболее ценным качеством ионообменных мембран является их селективная проницаемость, позволяющая применять мембраны для разделения ионов, а также для определения ионной составляющей растворов. Известен метод разделения катионов щелочного и щелочноземельного металла электродиализом с ионообменными мембранами.

При очистке и водоподготовке действие магнитного поля проявляется как через воздействие непосредственно на воду (матрица), так и

растворенные в ней вещества.

Для исследования изменения селективности процесса извлечения ионов щелочных металлов в магнитном поле методом электродиализа была собрана экспериментальная установка, содержащая источник постоянного тока, электродиализную ячейку, контрольный прибор (миллиамперметр). Использовались 2 постоянных магнита с остаточной намагниченностью 1,2 Тл и размерами 3×5 см, устанавливаемых вертикально по длинной стороне. Трехкамерная электродиализная ячейка выполнена из немагнитных материалов (полиметилметакрилата). Использовались ионообменные мембраны: анионообменная (МА-40) и катионообменная (МК-40). Устанавливаемые вертикально электроды (анод и катод) графитовые. На верхней части электродов, располагающихся выше уровня жидкости на 10 мм, механически закреплялись медные провода.

Каждая серия экспериментов включала электродиализ: без внешнего магнитного поля, с магнитными полями двух полярностей (по отношению к электродам). Исследуемый раствор щелочных металлов готовился один раз для всех циклов измерений. Электродиализные мембраны не заменялись.

Использовался водный раствор смеси трех солей с концентрациями: NaCl – 1 г/л, KCl – 1 г/л, Li₂SO₄ – 1,4 г/л. Напряжение питания электродиализной ячейки - 4 В, которое оказывает незначительное влияние на процесс разрушения угольных электродов.

Электродиализ проводили с магнитным полем 1,2 Тл двух полярностей относительно электродов и без магнитного поля. Линии магнитной индукции были сонаправлены с направлением линий напряженности электрического поля в ячейке.

Наблюдение за процессом электродиализа осуществляли на протяжении 17-19 часов. Через каждые 2 часа производили отбор проб из катодной камеры с целью определения концентраций содержащихся там ионов щелочных металлов спектральным методом. Зависимость от времени величины тока электродиализа проходит через максимум. Без магнитного поля, максимальное значение тока 10,5 мА было достигнуто за 1,5 часа. Действие магнитного поля вызывает уменьшение скорости возрастания тока в цепи – максимальное значение 8 мА достигается за 4,5 часа.

Многочисленное проведение экспериментов показало, что магнитное поле увеличивает эффективность электродиализного извлечения катионов из их водного раствора. При этом магнитное поле не оказывает

значимого воздействия на селективность извлечения ионов щелочных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапошник В.А. Разделение катионов натрия и кальция электродиализом с ионообменными мембранами / В.А. Шапошник, Фам Тхи Ле На, М.А. Макарова. – ГОУ ВПО «Воронежский государственный университет», Воронеж, 2010. – 7 с.
2. Хан В.А. Электродиализ водных растворов в магнитном поле / В.А. Хан, В.Ф. Мышкин, А.А. Цхе, В.Ю. Симоненко // Известия ВУЗов. Физика, 2013. №4/2. – С. 321-325.
3. V.F.Myshkin, C.V.Perminov, V.Y.Simonenko. Electrodialysis powered from a direct current in a magnetic field/ Tomsk Polytechnic University.- 2013. <<http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C01/V3/047.pdf>>
4. Lioubashevski O. Magnetic field effects on Electrochemical process: A Theoretical hydrodynamic model / O.Lioubashevski, E.Katz, I.Willner // The journal of Physical chemistry. - 2004. <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jp037785q>>.

ИЗОТОПНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ РАСПЫЛЕНИИ ТИТАНА В КИСЛОРОД-АРГОНОВОЙ СРЕДЕ

Беспала Е.В.¹, Перекрёстов Р.В.²,

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

²Charles University in Prague
E-mail: bespala_evgeny@mail.ru

На современном этапе область применения материалов с измененным изотопным составом в промышленности, науке и технике постоянно расширяется. Несмотря на существование традиционных и проверенных методов сепарации изотопов (центрифужный, газодиффузионный). Широкое использование обогащенных изотопами материалов затруднено по причине высокой себестоимости. Поэтому исследования, направленные на поиск изотопных эффектов и разработку инновационных методов разделения изотопов, являются актуальными.

Нами изучается способ получения стабильных изотопов путем их плазмохимической сепарации в магнитном поле. Во внешнем магнитном поле спины валентных электронов атомов и неспаренных электронов свободных радикалов прецессируют с характерными частотами. Характерные частоты парамагнитного резонанса для

изотопных модификаций радикалов отличаются. Была показана принципиальная возможность увеличения изотопной концентрации ^{13}C в монооксиде углерода с 1,1% до 1,4% при величине магнитного поля 0,2 Тл в результате плазмохимического окисления в условиях недостатка кислорода [1]. Это показывает, что газофазные радикальные процессы в низкотемпературной плазме, находящейся в магнитном поле, селективны по изотопам.

Титан и его соединения широко используются в технике и технологии. Например, оксид титана, относящийся к полупроводникам, перспективен для использования в качестве фотокатализатора окисления органических соединений. Два из пяти стабильных изотопов титана (^{47}Ti , ^{49}Ti) имеют парамагнитные ядра. Поэтому частоты электронных парамагнитных резонансов изотопов титана будут отличаться. При окислении титана в магнитном поле в условиях низкотемпературной плазмы изотопный состав продуктов реакции (TiO , TiO_2) должен также отличаться от природного. В дальнейшем на подложке формируется пленка из оксидов титана. Следует ожидать, что изменение изотопного состава материала пленки также приведет к изменению его функциональных свойств.

Для исследования влияния парамагнитных явлений на процесс окисления титана в магнитном поле использовалась установка, основу которой составлял источник плазмы с полым катодом. Генератор низкотемпературной плазмы находился в вакуумной камере при давлении 1-10 Па. Источником паров титана служил водоохлаждаемый полый катод, выполненный в виде сопла из титана чистотой 99,99%. Через полый катод в вакуумную камеру подавался плазмообразующий газ аргон. Кислород подавался в боковую часть вакуумной камеры. Соотношение количества газов $\text{Ar} : \text{O}_2$ в рабочей камере составляло 1000:1. При расходе аргона $50 \text{ см}^3/\text{мин}$, контролируемого по расходомеру MKS-1259CC, давление в плазменной струе значительно превышало давление в вакуумируемой камере. Магнитное поле, действующее на плазменный поток, создавалось с помощью магнитов с остаточной намагниченностью 0,2 Тл, устанавливаемых за подложкой. При этом расстояние между срезом сопла магнитом составляло 8 см. На расстоянии 5 см от среза сопла плазмотрона и 5 см от его оси устанавливалась входная диафрагма масс-спектрометрического анализатора марки HAL 7 MSIU. При этом оси плазменного потока и масс-спектрометра ориентировались перпендикулярно. Масс-спектрометр разрешает все изотопные пики титана и его оксидов.

Анализ масс-спектров отбираемых проб показывает наличие следующих частиц: TiO , TiO_2 , Ar , Ti . Из сравнения относительных

интенсивностей пиков изотопных модификаций разных частиц видно, что изотопный состав разных оксидов титана соответствует его природному составу. В настоящее время проводится поиск величины магнитного поля, обеспечивающего условия селективного окисления изотопов титана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Myshkin V.F., Izhoikin D.A., Ushakov I.A., Shvetsov V.F. Physical and Chemical Processes Research of Isotope Separation in Plasma under Magnetic Field // Advanced Materials Research Vol.880, P.128-133 (2014) doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.880.128.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОРБЦИИ ВОДОРОДА НАНОДИСПЕРСНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Тюделеков Е.А., Савостиков Д.В.

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

Для изучения процессов сорбции водорода наноструктурными композитными материалами на основе металлов, неметаллов и аллотропных модификаций углерода с целью получения новых водородсодержащих систем с повышенной емкостью [1] была создана исследовательская установка, схема которой приведена на рисунке.

Установка состоит из прогреваемого реактора *СТ*, соединенного с контроллером температуры *ТС* с помощью которого можно осуществлять изменение темпа и диапазона нагрева. Откачка системы до давлений ниже атмосферного производится форвакуумным насосом *N*. Контроль давления в системе осуществляется с помощью термопарных *РТ* и манометрических преобразователей *РД*. В качестве источника водорода использована установка по получению водорода *QL 500* производительностью 0,5 л/мин с давлением на выходе 0,4 МПа. Контроль выделяющегося водорода в реакторе осуществляется квадрупольным масс-спектром *МС-7*.

Разработанная установка позволяет:

- проводить исследования сорбции водорода нанодисперсными материалами металлов и неметаллов методом программируемой термодесорбции и изотермическим методом;
- осуществлять прогрев образцов в диапазоне температур

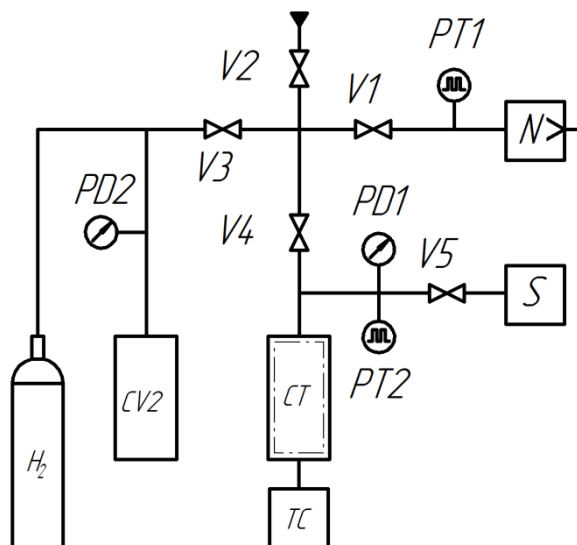


Рисунок. Экспериментальная установка по исследованию сорбции водорода наноструктурными системами

20÷800°C;

- изменять скорость нагрева изучаемых материалов интервале 0.1÷25°C/мин;
- изучать сорбцию водорода в диапазоне давлений $0,133\div 4\cdot 10^5$ Па;
- получать зависимость концентрации выделяющегося водорода с изменением температуры в режиме реального времени;
- получать зависимость изменения давления водорода от времени в объёме с исследуемым образцом при постоянной температуре.

На основе получаемых экспериментальных данных производится расчет и определение основных кинетических параметров процессов сорбции водорода материалами, таких как энергия активации реакции, форма адсорбции, порядок и скорость реакции, емкость системы и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

АККУМУЛИРОВАНИЕ ВОДОРОДА УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИМИ НАНОСТРУКТУРНЫМИ СИСТЕМАМИ

Борецкий Е.А.¹, Сидоркин А.С.², Савостиков Д.В.¹

Научный руководитель: Видяев Д.Г.¹, д.т.н., доцент

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

²РГП «Институт ядерной физики» Республика Казахстан, г.
Алматы, ул. Ибрагимова, 1

E-mail: bambr@tpu.ru

Использование водорода в качестве источника энергии является существенной альтернативой современным двигателям, работающим на углеводородном топливе. Серьезной задачей, которую необходимо решить, становится создание систем для аккумуляции водорода. К таким системам предъявляют высокие требования не только по безопасности и условиям хранения, но также и по емкости таких устройств. Одним из перспективных способов хранения водорода является применение сорбционных систем, где водород находится в связанном состоянии.

Различные аллотропные модификации углерода, обладая высокоорганизованной поверхностной структурой, позволяют использовать их в качестве перспективных сорбционных систем [1]. С целью изучения возможности применения таких систем была проведена теоретическая оценка сорбционной емкости по водороду систем на основе аллотропных форм углерода различной модификации.

Для этого нами были смоделированы три наиболее распространенные формы: фуллерены C₆₀, одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ) и нановолокна (НВ). Моделирование электронной и атомной структуры проводилось с использованием методов квантовой химии и молекулярной динамики с применением программы HyperChem. Для нахождения энергии адсорбции и оптимизации геометрии системы использовали полуэмпирический метод MNDO (модифицированное пренебрежение двухатомным перекрыванием). После моделирования и оптимизации геометрии рассматриваемой системы проводилось химическое присоединение атомов водорода к атомам рассматриваемых наноструктур. Степень покрытия определялась как отношение числа адсорбированных атомов водорода к числу атомов рассматриваемой наноструктуры:

$$\theta = N_H / N, \quad (1)$$

где θ – степень покрытия рассматриваемой наноструктуры водородом; N_H – число адсорбированных атомов водорода; N – количество атомов в рассматриваемой системе.

Удельная энергия адсорбции рассчитывалась по формуле [3]:

$$E_{adc} = (E_{cuc} - E_N - N_H E_H) / N_H, \quad (2)$$

где E_{adc} – удельная энергия адсорбции водорода; E_{cuc} – полная энергия системы "наноструктура – адсорбат"; E_N – полная энергия свободной наноструктуры; E_H – энергия одного атома водорода; N_H – общее число адсорбированных атомов водорода.

Энергии E_{cuc} и E_N брались для полностью оптимизированной геометрии. Результатом получалась энергия адсорбции на один атом водорода. При этом, если энергия адсорбции имеет отрицательное значение, то рассматриваемая система считалась стабильной.

После определения зависимости энергии адсорбции от степени покрытия и стабильных конформаций системы, определялась предельная сорбционная емкость по водороду из формулы:

$$\eta_H = \frac{m_H}{m_H + m_N} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где η_H – предельная сорбционная емкость по водороду, мас.%; m_H – масса адсорбированного водорода; m_N – масса свободной наноструктуры.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица. Значение сорбционной емкости системы по водороду, в % масс.

Модификация	Давление p , МПа; $T = 80\text{K}$			Давление $p = 10\text{МПа}$; $T = 300\text{K}$
	0,1	1	10	
Фуллерен C_{60}	0,9	2,7	7,0	3,3
ОУНТ	0,2	1,1	5,3	2,3
НВ	1,0	3,2	9,0	4,7

На основании полученных значений сорбционной емкости по водороду показана перспективность использования в качестве аккумулятора водорода исследованных модификаций углерода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hirscher M., Becher M., Haluska M. et al. Hydrogen storage in carbon nanostructures // J. of Alloys and Compounds.– 2002. Vol. 330–332. – P. 654–658.

Секция 3

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

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

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦЕЗИЯ СОРБЕНТОМ НА ОСНОВЕ ДИБЕНЗО-24-КРАУН-8: ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ ВОДНО-СПИРТОВОГО РАСТВОРА

Губа Л.В., Ляпунов А.Ю.

Научный руководитель: Довгий И.И., к.х.н., доцент
Севастопольский национальный университет ядерной
энергии и промышленности, 299033, Россия, г. Севастополь,
ул. Курчатова, 7
E-mail: dovgy@ukr.net

Радионуклид ^{137}Cs находит широкое применение во всех областях науки и техники, а также в медицине. γ -Излучение ^{137}Cs используется в радиационных технологиях, химических и радиобиологических исследованиях, γ -дефектоскопии. В медицине ^{137}Cs применяется в качестве источника γ -излучения для контактной и дистанционной лучевой терапии. Использование макроциклических соединений, в частности краун-эфиров, для экстракционного извлечения цезия ранее широко изучалось [1]. Однако использование краун-эфиров для сорбционного извлечения цезия является малоисследованной проблемой. В частности, слабо изучена возможность использования сорбентов, полученных иммобилизацией без ковалентного связывания (импрегнированием) в инертной по отношению к катионам металлов матрице или на поверхности пористого носителя.

Ранее [2] нами сообщалось о получении сорбента на основе дибензо-24-краун-8 для извлечения цезия. Было обнаружено, что полученный сорбент обладает высокими коэффициентами извлечения цезия из водно-спиртовых растворов, с использованием в качестве высаливателя пикриновой кислоты (2,4,6-тринитрофенола). В данной работе изучалось влияние pH водно-спиртового раствора на коэффициент распределения цезия. Исследования проводились на растворах, приготовленных из стандартного раствора МСО 1060:2004. Регулировка pH проводилась добавлением раствора гидроксида лития, поскольку было показано, что литий не извлекается данным сорбентом. Было установлено, что равновесие сорбционного извлечения устанавливается в течении 2 суток. Однако, поскольку было установлено, что цезий практически количественно извлекается из водно-этанольных растворов (объемная доля этанола 20%) с содержанием пикриновой кислоты 0,01 моль/л сорбентом с содержанием ДБ24К8 8,37%, изучение влияния различных факторов на извлечение цезия проводили в неравновесных условиях (в течение 1 суток, сорбентом с содержанием краун-эфира 4,24%). Эксперименты по сорбционному извлечению проводили

трижды. Точное значение рН водно-спиртового раствора определяли на иономере И-160М. Концентрацию цезия в исходном и конечном растворах определяли методом эмиссионной фотометрии пламени на атомно-абсорбционном спектрофотометре Сатурн-4 ЭПАВ. Формула для расчета коэффициента распределения, емкости сорбента и степени извлечения приведены в [2]. График зависимости коэффициента распределения цезия от рН на рис. 1.

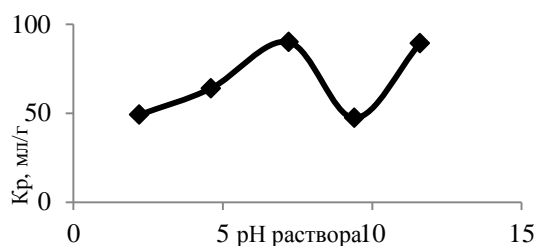


Рис. 1. Зависимость коэффициента распределения цезия от рН.

Высокие значения коэффициента распределения в нейтральной среде объясняется нами тем, что катионы щелочных металлов извлекаются краун-эфирами с крупными анионами, т.е. в виде солей, в данном случае пикрата цезия, однако увеличение коэффициента в щелочной среде после падения при рН 10 нами однозначно установлено, но требует дальнейших исследований для объяснения.

Также на данный момент изучено влияние природы и объемной концентрации спирта, концентрации пикриновой кислоты, физико-химические параметры (кинетика и изотерма сорбции), а также селективность полученного сорбента. На настоящее время планируется проведение экспериментов по извлечению ^{137}Cs .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vibhute R.G. Solvent extraction separation of cesium with dibenzo-24-crown-8 from picrate solution / R.G. Vibhute, S.M. Khopkar // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 1991. – Vol. 152, No. 2. – P. 487–496.
2. Губа Л.В. Получение нового сорбента на основе эндорецептора дибензо-24-краун-8 / Л.В. Губа, И.И. Довгий, А.Ю. Ляпунов// *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия: Биология, химия*. – 2013 – Т. 26 (65), № 1 – С. 306–311.

ОСОБЕННОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОБАЛЬТА СОРБЕНТАМИ, МОДИФИЦИРОВАННЫМИ КРАУН-ЭФИРАМИ

Маник В.С., Штефан А.В.

Научный руководитель: Довгий И.И., к.х.н., доцент
Севастопольский национальный университет ядерной
энергии и промышленности, 299033, Россия, г. Севастополь,
ул. Курчатова, 7
E-mail: dovgy@ukr.net

Разработка сорбентов и исследование селективного извлечения радионуклидов являются актуальными задачами. Одним из наиболее опасных техногенных радионуклидов, образующихся при работе АЭС, является ^{60}Co . Он широко применяется как источник γ -излучения в технике и медицине и как индикатор при исследовании динамики различных химических и биологических процессов. Экстракционное извлечение кобальта краун-эфирами ранее широко изучалось [1], однако, исследования в области использования краун-эфиров в процессах сорбционного извлечения практически не проводились.

В работе [2] проводили экстракцию роданидных комплексов кобальта 18-краун-6 (18К6) и дициклогексил-18-краун-6 (ДЦГ18К6) в 1,2-дихроэтаноле, при этом было показано, что кобальт экстрагируется в широком интервале рН от 1 до 7. Экстракция роданидных комплексов кобальта изоамиловым спиртом также является общеизвестной. Поэтому в качестве условий нами также была выбрана сорбция из роданидных растворов с концентрацией роданида аммония 5 моль/л в кислой среде при рН = 2. Коэффициент распределения (K_p) рассчитывался по формуле 1:

$$K_p = \frac{C_{исх} - C_{кон}}{C_{кон}} \cdot \frac{V_p}{m_{сорб}} \text{ мл/г}, \quad (1)$$

где $C_{исх}$ – концентрация металла в исходном растворе, мг/л;
 $C_{кон}$ – концентрация металла в растворе после сорбции, мг/л;
 V_p – объем исходного раствора, взятого на сорбцию (10 мл);
 $m_{сорб}$ – масса сорбента, взятого на сорбцию (0,1 г), отношение $V_p/m_{сорб} = 100$ мл/г постоянно во всех экспериментах.

Коэффициент распределения кобальта при извлечении сорбентом на основе «Поролас-Т», полученном нами ранее [3], с содержанием дибензо-18-краун-6 (ДБ18К6) (5,5%) при рН = 2 составил всего лишь 1,92 мл/г. Таким образом, сорбция в изученных условиях практически не протекает.

В работе [4] изучалось извлечение кобальта ДБ18К6 сорбентом на основе силикагеля марки L. Нами был получен образец сорбента по

предложенной методике. Извлечение кобальта проводилось сорбентом с иммобилизованным краун-эфиром и исходным силикагелем. Было показано, что коэффициенты распределения кобальта модифицированным и исходным силикагелем имеют близкие значения 213 и 173 мл/г соответственно. Поэтому очевидно, что кобальт в работе [4], сорбируется в основном не закрепленным краун-эфиром, а силикагелевой матрицей.

Таким образом, актуальным являются дальнейшее решение задачи селективного извлечения кобальта, получение сорбентов и условий проведения процесса извлечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khalifa S.M. Ion-pair extraction of Co(II) by crown ethers from perchlorate medium / S.M. Khalifa, H.F. Aly / *Talanta*. – 1989. – Vol. 36, No. 3. – P. 406–408.
2. Yoshio M. Analytical applications of crown ether extraction of cobalt thiocyanate complex with ammonium-crown ether complex / M. Yoshio, M. Ugamura, H. Noguchi and M. Nagamatsu // *Analytical letters*. – 1978. – A11, No. 4. – P. 281-286.
3. Бежин Н.А. Получение нового сорбента на основе эндорецептора дибензо-18-краун-6 / Н.А. Бежин, И.И. Довгий, А.В. Балиоз // Сборник научных работ Севастопольского национального университета ядерной энергии и промышленности. – 2012. – Т. 1 (41). – С. 115-119.
4. 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.

ИЗМЕНЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ЛИТИЯ В ПРОЦЕССЕ ЗОННОЙ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПЕРХЛОРАТА КРИСТАЛЛОГИДРАТА

Акимов Д.В.

Научный руководитель: Егоров Н.Б., к.х.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30
E-mail: akimov@tpu.ru

Свойства солей щелочных металлов, имеющих природный изотопный состав, изучены достаточно подробно. Изучению влияния изотопного замещения в солях щелочных металлов на их свойства до сих пор уделялось недостаточно внимания. Однако в связи с поиском новых

соединений с регулируемыми свойствами для электрохимических устройств проявляется повышенный интерес к солям щелочных металлов с изотопно-измененным составом.

Известно, что перхлорат лития LiClO_4 , растворенный в органических средах или полимерной матрице, не взаимодействует с литием и характеризуется высоким значением потенциала электрохимического разложения. Таким образом, композиционные твердые электролиты на основе LiClO_4 могут оказаться перспективными материалами для использования в твердотельных электрохимических ячейках. Кроме этого LiClO_4 может служить более удобной модельной системой для исследования влияния кристаллохимических факторов, в частности, размера катиона на проводимость. Поэтому синтез, исследование физико-химических свойств LiClO_4 и установление зависимостей и взаимосвязей, позволяющих регулировать эти свойства, имеет значительный научный интерес.

Целью данной работы является исследование влияния изотопного замещения ^6Li и ^7Li в перхлорате лития LiClO_4 на его структурные, термические и колебательные свойства.

Для синтеза LiClO_4 использовали LiOH , обогащенные по ^7Li (99,99 %) и по ^6Li (90,5 %), которые растворяли в хлорной кислоте. Рентгеноструктурные исследования проводились при комнатной температуре на дифрактометре D8 DISCOVER (CuK -излучение, $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$). Определенные различия в объемах элементарных ячеек между $^6\text{LiClO}_4$ и $^7\text{LiClO}_4$ составили 0,3 %.

Дифференциально-сканирующий анализ образцов LiClO_4 проводили на калориметре DSC Q2000. Из анализа кривых ДСК следует, что для образцов $^6\text{LiClO}_4$ и $^7\text{LiClO}_4$ наблюдается разница в 1,5 С для эндотермического эффекта, относящегося к плавлению LiClO_4 .

Спектры КР получали на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 6700 с приставкой комбинационного рассеяния в диапазоне от 100 до 4000 cm^{-1} при комнатной температуре. В спектрах образцов присутствуют колебания ClO_4^{2-} - иона – симметричное (1), дважды вырожденное деформационное (2), два трижды вырожденных антисимметричных (3) и два трижды вырожденных (4). Положения линий колебаний для $^7\text{LiClO}_4$ сдвинуты в низкоэнергетическую сторону, а линии, соответствующие колебаниям $^6\text{LiClO}_4$, имеют высокоэнергетический сдвиг по отношению к спектру $^{\text{nat}}\text{LiClO}_4$.

Авторы благодарят сотрудников Научно-аналитического центра ТПУ за съемку и расшифровку кривых ДСК образцов LiClO_4 .

ИЗМЕНЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА МАГНИЯ ПРИ МНОГОКРАТНОЙ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Акимов Д.В.

Научный руководитель: Егоров Н.Б., к.х.н., доцент
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 магния при зонной перекристаллизации его хлорида кристаллогидрата ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Магний имеет три изотопа ^{24}Mg , ^{25}Mg и ^{26}Mg в соотношении 78,60 %, 10,11 % и 11,29 % [3], при этом ^{24}Mg можно рассматривать как основной изотоп, а изотопы ^{25}Mg и ^{26}Mg как примесь к основному изотопу.

Целью работы являлось исследование разделения изотопов магния в процессе зонной перекристаллизации $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и выявление факторов, интенсифицирующих этот процесс.

Исследования проводили на образцах $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ квалификации «чда» длиной 100 мм и диаметром 3 мм. Образцы готовились следующим образом. Кристаллогидрат хлорида магния $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ нагревали до полного его расплавления и наполняли им стеклянную трубку, после чего трубку запаивали с обеих сторон.

Опыты проводили на установке, имеющей пять зон нагрева и охлаждения (рисунок 1). В качестве нагревательных элементов использовалась нихромовая проволока. Плавление $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в условиях эксперимента происходило полностью без присутствия донной фазы. Температура зоны расплава поддерживалась в диапазоне 1201°C , что обеспечивало расплавление участка соли по высоте слитка на 3...4 мм. Охлаждение расплава было естественно-воздушным. Температура зоны охлаждения составляла 202°C .

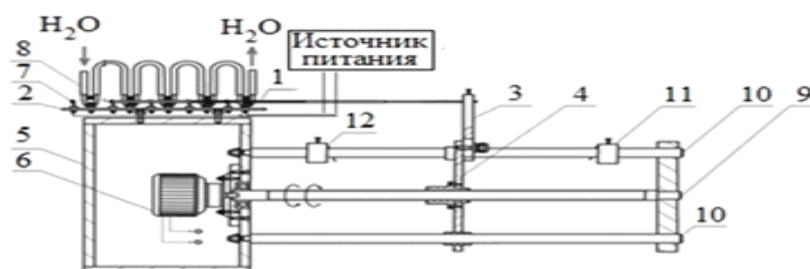


Рис.1 Схема экспериментальной установки (1 – кварцевая трубка с солью магния; 2 – платформа; 3 – штанга; 4 – каретка; 5 – корпус; 6 – шаговый электродвигатель; 7 – нагревательный элемент; 8- элемент охлаждения; 9 – вал; 10 – направляющие; 11, 12 – датчики)

После опыта стеклянная трубка обрезалась с концов по 10 мм, образцы $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ вынимали и направляли на изотопный анализ. Анализ выполнялся методом масс-спектрометрии на изотопном масс-спектрометре МХ-1301Т.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что изотопы ^{25}Mg и ^{26}Mg концентрируются в начальной зоне кристаллизации, а изотоп ^{24}Mg перемещается вместе с зоной расплава и концентрируется в конечной зоне кристаллизации. Данное наблюдение, можно объяснить тем, что изотоп ^{24}Mg обладает большей диффузионной подвижностью и соответственно способен перемещается в большей степени, чем изотопы ^{25}Mg и ^{26}Mg .

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.

ОЧИСТКА ИЗОТОПНООБОГАЩЕННОГО СВИНЦА

Новосёлов А.Б., Акимов Д.В.

Научный руководитель: Егоров Н.Б., к.х.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30
E-mail: akimov@tpu.ru

В настоящее время возрос интерес к изотопночистым материалам, свойства которых отличаются от свойств материалов, имеющих природный изотопный состав [1]. Так, например, стабильные изотопы свинца имеют возможность использования в качестве теплоносителя в нейтронных полях [2]. Однако на процессы массопереноса в контурах с жидким свинцом, на свойства последнего и на работоспособность реактора в целом могут оказывать примеси. Для успешной эксплуатации необходимо регулировать качество теплоносителя, т.е. поддерживать оптимальное количество примесей в изотопах свинца (генетических - Cu, Te, Bi, Ag, Au, Sn, As, Sb, Zn; из конструкционных материалов - оксиды Fe, Cr, Ni, Mn и др.). Поэтому наряду с высокой изотопной чистотой, к стабильным изотопам свинца предъявляются требования по высокой химической чистоте.

Анализ литературных данных показал, что для рафинирования свинца в основном используют различные химические и физико-химические методы, но завершают процесс рафинирования, как правило, физические методы – дистилляция, зонная перекристаллизация, электроперенос и различные их сочетания. В основе этих методов лежат преимущественно физические процессы: испарение и конденсация, кристаллизация, диффузия и электромиграция и др. Преимущества этих методов перед другими связаны с возможностью достижения высоких степеней очистки [3].

В нашей работе для получения изотопночистого свинца использовался метод дистилляции в вакууме. Дистилляционный метод основан на различной летучести компонентов расплава свинца. Рафинированным продуктом является его конденсат, при этом в кубовом остатке остаются труднолетучие примеси, а легколетучие вместе с основным металлом переносятся в зону конденсации.

Предварительно свинец загружался в кварцевый тигель высокой чистоты с внутренним диаметром 5 мм и высотой 30 мм. Тигель опускался на дно кварцевой трубки, диаметром 20 мм, нижняя часть которой помещалась в печь. Длина печи составляла 400 мм, диаметр рабочей камеры 50 мм. Дистилляцию ^{208}Pb проводили при температуре испарения $\sim 550^\circ\text{C}$ в вакууме $\sim 5 \times 10^{-3}$ мм. рт. ст. в течение 16 часов.

Вакуумирование системы осуществлялось через верхнюю часть кварцевой трубки. Общий вид установки для дистилляции ^{208}Pb представлен на рисунке 1.

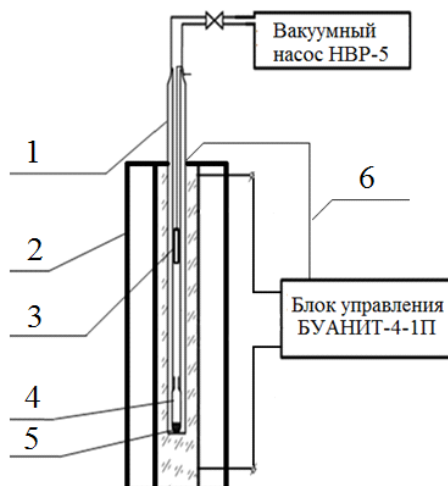


Рис.1 Установка для дистилляции свинца (1 – кварцевая трубка, 2 – печь, 3 – коллектор, 4 – тигель, 5 свинец, 6 – термопара)

Результаты проведенных в данной работе исследований свидетельствуют о практической возможности использования процесса вакуумной дистилляции для очистки свинца от примесей. После двукратной дистилляции был получен ^{208}Pb с примесным содержанием 10^{-5} масс.%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плеханов В.Г. Изотопическая инженерия // Успехи физических наук. 2000. – V. 170. – С. 1245 – 1252.
2. Хорасанов Г.Л., Блохин А.И. // Перспективные материалы. Специальный выпуск (8), февраль. 2010. С. 361 – 365.
3. Романтеев Ю.П., Комков А.А., Быстров С.В., Фёдоров А.Н. Металлургия свинца М.: МИСиС, 2005. – 215 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОТКАЧНЫХ СИСТЕМ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Картавых А. Д., Губанов С.М., Чуканов М. В.

**ОАО «Сибирский химический комбинат», 636039. Россия,
Томская обл.,**

г. Северск, Курчатова ул., 1.

E-mail: kaashkfebmail.ru

Откачная система Завода разделения изотопов (ЗРИ) предназначена для откачки воздуха, неагрессивных газов, паров и парогазовых смесей, предварительно очищенных от капельной влаги и механических загрязнений из герметичных вакуумных систем в стационарных установках. Система откачки располагается в зданиях 1001, 1002, 1004, 1005 и корпусе 9 состоит из вакуумных насосов.

Система откачки в основном укомплектована насосами типов АВЗ и НВЗ. За время эксплуатации насосов данного типа выявлены серьезные недостатки, снижающие эффективность и надежность системы откачки. Основным недостатком в процессе эксплуатации данного типа насосов в откачной системе является контакт вакуумного масла с рабочей средой, содержащей просоки урана, что приводит к накоплению урана в вакуумном масле. Процесс переработки отработанного вакуумного масла, содержащего радиоактивные вещества, негативно влияет на окружающую среду и представляет собой комплекс дорогостоящих мероприятий.

Схема улавливания организована следующим образом: газовая среда прокачивается вакуумным насосом через поглотительные колонки для нейтрализации, а затем выбрасывается в выхлопную линию. Уносимые пары масла, содержащего радиоактивные вещества, забивают маслоуловители, осаждаются на стенках трубопроводов выхлопной линии и запорной арматуры. Химический поглотитель накапливает радиоактивные вещества и требует периодической регенерации.

Процесс улавливания вредных примесей происходит при большом разряжении, так же поглотительными колонками создается дополнительное сопротивление при откачивании объемов, что делает процесс откачки энергетически затратным.

Перечисленные факторы, свидетельствуют о том, что откачная система энергетически не эффективна и оказывает негативное влияние на экологию ввиду образования радиоактивных отходов.

Основной целью работы является уменьшение негативного влияния на экологию, в виду сокращения количества отработанного вакуумного

масла, загрязненного радиоактивными веществами. Изменение принципа организации технологической схемы удаления вредных примесей предполагает организовать схему улавливания вредных примесей после вакуумных насосов. Для такого режима работы необходима замена существующих вакуумных насосов на более современные средства безмасляной откачки, способные работать в агрессивной среде, в качестве которых могут применяться безмасленные вакуумные насосы. Так же предлагается исследовать возможность объединения откачных коллекторов с уменьшением количества установленных вакуумных насосов.

При применении безмасленных средств откачки с уменьшением количества установленных вакуумных насосов сокращается количество отработанного вакуумного масла, загрязненного радиоактивными веществами, отсутствует унос паров масла. Отпадает необходимость в дорогостоящей переработке отработанного вакуумного масла, что существенно снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Так же улавливание вредных примесей после вакуумных насосов будет происходить при давлениях близких к атмосферному, что является значительным энергетическим преимуществом, поскольку снизит сопротивления при откачивании объемов коллекторов.

РАЗРАБОТКА, ОПТИМИЗАЦИЯ ГИБКОЙ СИСТЕМЫ ИЗОТОПНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ОБМЕННЫЕ И ЭЛЕКТРОХРОМОТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Балашков В.С.¹, Дрогалев А.С.¹

Научный руководитель: Вергун А.П.², д.ф-м.н., профессор

¹ОАО «Сибирский химический комбинат», 636039. Россия,

Томская обл.,

г. Северск, ул. Курчатова, 1.

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

пр. Ленина, 30

E-mail: balashkov_vit@mail.ru

В настоящее время ведутся активные исследования в области использования ионитов в процессах разделения изотопов. Это связано с желанием уйти от использования вредных веществ в условиях фракционирования. Разработан ряд методов, позволяющих достичь приемлемого коэффициента разделения. С целью повышения

эффективности предложено внедрение гибких производственных систем (ГПС) в процессах разделения изотопов.

Для оптимизации работы каскада по разделению изотопов и 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.

Применение ГПС в промышленности позволяет разрешить противоречия между высокой производительностью и отсутствием мобильности оборудования для массового производства и высокой мобильностью и низкой производительностью универсального оборудования единичного и серийного производства.

Особенность ГПС состоит в групповой, гибко перенастраиваемой технологии ведения процесса обогащения, высокой степени автоматизации, обеспечивающей минимальное участие человека в выполнении прямых производственных функций, связанных с технологическим процессом.

Нами рассмотрены особенности разделения изотопов и ионов щелочных элементов при обмене в двух фазной системе ионит-раствор. Разделение изотопов обменными способами на твердофазных ионитах 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 ионита, использованного в процессе обмена для извлечения из него целевого изотопа, перевод выделенного изотопа в фазу раствора для его последующего использования на стадиях разделения.

В ходе работы было предложено и реализовано несколько схем установок по разделению изотопов: использовался шестикамерный аппарат, состоящий из двух трехкамерных, и организовано одновременное замещение обогащённой фракции зоной, обедненной по выделяемому изотопу, в трехкамерном электродиализаторе. Так же была реализована схема, основанная на сочетании ионного обмена с электромиграцией ионов и осуществляемая в противоточных ионообменных колонках с наложением электрического поля. Наиболее интересным и эффективным явился метод разделения изотопов, основанный на оригинальном совмещении электродиализа и ионного обмена на установке, состоящей из противоточной ионообменной колонки с наложением электрического поля и электродиализатора, присоединенного к ее катодной части. Более эффективно

осуществляется и каскадирование ступеней типа электродиализатор-колонна, 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 видов.

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. – 121 с.
4. Вергун А.П., Пуговкин М.М., Шаров Р.В. Разделение изотопов и тонкая очистка веществ электроионитными и обменными методами. Томск, ТПУ, 2000.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ И ДЕИОНИЗАЦИИ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОМЕМБРАННЫМИ И ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Дрогалев А.С.¹, Балашков В.С.¹

Научный руководитель: Вергун А.П.², д.ф.-м.н., профессор

¹ОАО «Сибирский химический комбинат», 636039. Россия,
Томская обл.,

г. Северск, ул. Курчатова, 1.

²Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30

E-mail: drogalev@tpu.ru

Изотопная отрасль динамично развивается благодаря использованию уникальных свойств изотопных материалов в научных исследованиях, технике, медицине. Поскольку постоянно расширяется номенклатура используемых изотопов, возрастают требования к их степени

обогащения, а их производство характеризуется значительными капитальными и эксплуатационными затратами, то вопросы совершенствования существующих и разработки новых эффективных методов изотопного разделения являются весьма актуальными. Перспективное направление исследований в таком плане связано с изучением разделительных процессов с применением ионообменных, электромембранных и обратноосмотических методов.

Большое разнообразие ионитов, возможности синтеза их с наперед заданными свойствами позволяют осуществлять направленный выбор систем с максимальными разделительными свойствами. На основании направленного поиска предложены способы разделения изотопов.

В методе разделения изотопических ионов при электродиализе с применением ионитовых мембран используются разница подвижностей изотопических ионов в фазах ионита (ионитовая мембрана) и раствора, особенности поведения указанных фаз во внешнем электрическом поле. Приведены результаты применения монополярных и биполярных мембран для разделения изотопов легких щелочных элементов. Обратноосмотические методы используются нами как в процессах деионизации растворов, так и при разделении изотопических ионов. При постановке опытов по разделению изотопов и тонкой очистке веществ, оптимизации процессов важное внимание уделяется методам планирования экстремальных экспериментов.

Применение математического планирования позволяет существенно повысить эффективность экспериментальных исследований, так как дает возможность получить максимум информации при значительно меньшем, по сравнению с классическими приемами, числе необходимых опытов.

Для указанных разделительных процессов получены уравнения регрессии, оптимальные условия проведения экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Drogalev A.S., Balashkov V.S., Vergun A.P. 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST) // Special features of reverse osmosis appliance in pharmacology water treatment. 2012. pp. 1-4.
2. Дрогалев А.С., Вергун А.П. Использование комбинированных методов очистки воды // Перспективы развития фундаментальных наук. Сборник научных трудов VIII Международной конференции студентов и молодых ученых. Томск. 2011. С. 290-293.
3. Дрогалев А.С., Балашков В.С., Вергун А.П. Применение электроионитных процессов для разделения изотопических ионов и тонкой очистки веществ // Современные техника и технологии : сборник

трудов XVIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск. 2012. Т. 3. С. 19-20.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЭЛЕКТРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Камытбаева А.У.¹

Научный руководитель: Мышкин В.Ф.², д.ф.-м.н., профессор

¹Государственный университет им. Шакарима, Республика
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А

²Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30

E-mail: gos100@list.ru

Электролиз широко используется в технологических процессах: нанесение декоративных и защитных покрытий, получение алюминия. Электролиз требует значительных затрат электроэнергии. Поэтому поиск методов уменьшения энергопотребления процесса электролиза является актуальным.

Цель исследования: поиск метода уменьшения сопротивления при переходе металлический электрод – водный раствор неорганической соли. Задача исследований: изучение влияния магнитного поля на эффективность электролиза водных растворов.

Изучению влияния магнитного поля на структуру воды и водных систем посвящено множество работ [1-6]. Установлено, что магнитное поле влияет на образование и распад кластеров воды, растворимость солей жесткости, а также на электролиз за счет действия на электромиграцию ионов. Влияние магнитного поля на сопротивление между двумя металлическими электродами, разделенными тонким слоем диэлектрика, известно как «гигантское магнитосопротивление».

Нами проводятся исследования влияния магнитного поля на приэлектродные процессы в водном растворе хлорида натрия. Используется экспериментальная установка, основой которого составляет U-образная трубка диаметром 2 см из стекла. В качестве электродов используются стальные, медные и алюминиевые стержни диаметром 3 мм. Расстояние между электродами по раствору составляет 35 см.

Для контроля влияния постоянного магнитного поля на процесс электролиза собираются выделяющиеся на катоде газы. Для этого катод помещается в стеклянный колпак, заполненный рабочим раствором. В процессе электролиза регистрируется зависимость количества

выделившегося на катоде газа от времени протекания тока. Данные, полученные в условиях действия постоянного магнитного поля 1,2 Тл и без поля, приведены на рисунке. Данные усреднены по 5 измерениям.

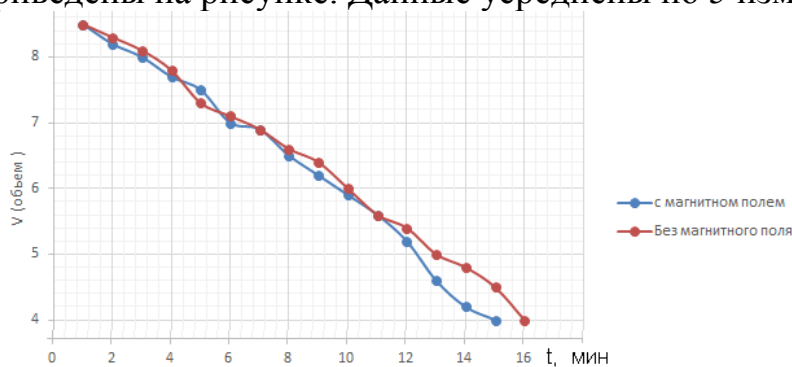


Рисунок – График

Из рисунка видно, что выделение газов при электролизе на катоде, находящемся в магнитном поле, меньше. Поэтому в дальнейшем влияние магнитного поля на процесс перехода заряда через границу раствор – металл будет продолжено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мышкин В.Ф., Хан В.А., Ижойкин Д.А. и др. Анализ процессов, обуславливающих влияние магнитного поля на структуру и свойства воды // <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/48.pdf>.
2. Ming-Yuan Lin, Lih-Wu Hourng, Chan-Wei Kuo. The effect of magnetic force on hydrogen production efficiency in water electrolysis // International Journal of Hydrogen Energy. 2012.- V. 37.- Issue 2.- P.1311–1320.
3. Weier T, Hualler J, Gerbeth G, Weiss FP. Lorentz force influence on momentum and mass transfer in natural convection copper electrolysis // Chemical Engineering Science. 2005.- 60:293–298.
4. Bund A, Koehler S, Kuehnlein HH, Plieth W. Magnetic field effects in electrochemical reactions. *Electrochimica Acta* 2003; 49:147–152.
5. Perov N.S., Sheverdyayeva P.M., Inoue M., Effect of magnetic field on the electrode potential of metals, Book of Abstract MMM2001, GR-09, p. 338.
6. Gan'shina E.A., Kim C.G., Kim C.O., Kochneva M.Yu., Perov N.S., Sheverdyayeva P.M., Depth profile of magnetic anisotropy in annealed Cobased amorphous ribbons, Book of Abstract MMM2001, GE-12, p. 316.

РАСЧЕТ БЕТТА-ФАКТОРА СОЕДИНЕНИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Нейман В.А., Семченко И.С.

Научный руководитель: Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.
Ленина, 30
E-mail: gos100@list.ru

Специально формируемые смеси изотопов имеют значительно лучшие характеристики, чем их смеси природного состава. Широкому использованию изотопов препятствует высокая себестоимость технологии. Обменные методы разделения изотопов широко используются при промышленном получении многих изотопов. В связи с перспективами расширения сферы применения изотопов является актуальным поиск методов увеличения эффективности метода.

При теоретическом описании процесса изотопного обмена можно использовать несколько подходов. В первом порядке термодинамической теории возмущений к перераспределению стабильных изотопов β -фактор можно выразить через кинетическую энергию колебательного движения и разность масс рассматриваемых изотопов [1]

$$\ln \beta = \frac{M^* - M}{M^*} \left(\frac{E_K}{zRT} - \frac{3}{2} \right),$$

где E_K - кинетическая энергия (на один моль) колебаний; M - масса изотопа.

Выражение для расчета β -фактора может быть записано через спектр колебательных частот исходного и замещенного по изотопам соединения [2]

$$\ln \beta = \frac{1}{n} \sum_i^n d_i \ln \left\{ \frac{u'_i \exp(-0,5u'_i)}{u_i \exp(-0,5u_i)} \cdot \frac{1 - \exp(-0,5u'_i)}{1 - \exp(-0,5u_i)} \right\},$$

где $u_i = \nu_i hc/kT$ - приведенная частота колебания ν_i , см^{-1} , d_i - кратность вырождения Зеемановских уровней.

Здесь частоты с верхними штрихами относятся к изотопным формам, содержащим большее количество тяжелых изотопов замещаемого атома, а символы без штриха — формам, имеющим большее число легких изотопов.

Известно, что во внешнем магнитном поле происходит расщепление вырожденных электронных уровней на Зеемановские состояния и, соответственно, перераспределение Больцмановского распределения по возбужденным электронным состояниям. Каждому возбужденному

состоянию соответствуют свой колебательный спектр. Во внешнем постоянном магнитном поле происходит изменение β -факторов взаимодействующих фаз вещества, а формула для расчета β -фактора приобретает вид

$$\ln \beta = \left(n + \sum_{i,j} (d_{ij} - 1) \right)^{-1} \sum_i^{n+\sum d_{ij}} \ln \left\{ \frac{u'_i \exp(-0,5u'_i)}{u_i \exp(-0,5u_i)} \cdot \frac{1 - \exp(-0,5u'_i)}{1 - \exp(-0,5u_i)} \right\}$$

Очевидно, что изменение β -факторов соединений, обменивающихся изотопами, тем значительнее, чем больше величина магнитного поля, приводящего к более значительной перестройке электронного, а поэтому и колебательного спектра. При этом должно наблюдаться изменение однократного коэффициента разделения.

Анализировали пары обменивающихся изотопами молекул: NO и $\text{HNO}_{3\text{ж}}$, $\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ и $\text{HD}_{(\text{г})}$. Спектр колебательных частот, без магнитного поля, и вычисляли с помощью программ HYPERCHEM и GAUSSIAN, по которому рассчитывали β -факторы. Для расчета β -факторов в магнитном поле учитывали расщепление вырожденных линий изотопных модификаций.

В докладе приводятся результаты анализа рассчитанных значений коэффициента однократного разделения при изотопном обмене во внешнем магнитном поле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Polyakov V.B., Kharlashina N.N. The use of heat capacity data to calculate carbon isotope fractionation between graphite, diamond, and carbon dioxide: A new approach // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1995. - 59, 2561–2572.
2. Жаворонков Н.М., Князев Д.А., Ивлев А.А. и др. Термодинамика реакций изотопного обмена // *Успехи химии*, 1980. – Т.XLIX. – Вып. 3. – С. 385-419.

РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНЫХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ, СТОЧНЫХ РАСТВОРОВ, СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИЗОТОПОВ

Перминов С.В., Давыдов Е.Ю.

Научный руководитель Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30
E-mail: gos100@list.ru

Технологии водоподготовки и водоочистки на основе мембранных и электродиализных методов широко используются в промышленных масштабах. В условиях увеличения потребления воды является актуальным поиск методов интенсификации этих процессов. Возможность комплексного воздействия магнитным полем как на структуру воды и гидратированных ионов, так и ионообменных материалов открывает перспективы для использования магнитного поля в различных отраслях промышленности, при водоподготовке и водоочистке, селективного выделения ионов из их водных растворов.

На возможность влияния на различные процессы с помощью внешнего магнитного поля указывают следующие известные явления. Известен магнитный изотопный эффект – селективного по изотопу образования химического соединения в условиях воздействия внешним постоянным магнитным полем. Показано влияние магнитного поля на работу электродиализной ячейки [1]. Диамагнитными свойствами, формированием направленного против внешнего магнитного поля внутреннего поля, обладают многие материалы. Поэтому даже при отсутствии парамагнитных ядер и неспаренных валентных электронов имеется принципиальная возможность управления некоторыми физико-химическими процессами с помощью внешнего магнитного поля.

Для изучения влияния внешнего постоянного магнитного поля на процесс электродиализа была использовалась экспериментальная установка, содержащая: трехкамерный электродиализатор, схему усиления электрических сигналов, два лабораторных источника питания постоянного тока, постоянные магниты, нагрузочное сопротивление, измерительные приборы. Электроды выполнены из нержавеющей стали. Постоянные магниты 1,2 Тл устанавливались с торцов камеры. При этом направления магнитного и электрического полей ориентированы вдоль одной линии.

Величину электродиализного тока в цепи через ячейку непрерывно контролировали и регистрировали при помощи виртуального

осциллографа АКТАКОМ АСК-3107 в режиме самописца (LeCroy WaveSurfer 44XS), стрелочного миллиамперметра М109.

Действие магнитного поля при напряжении питания ячейки 10В, вызывает одновременное сжатие графика по оси времени и увеличение максимального значения тока. При расположении магнита северным полюсом в области катода наблюдается более выраженный эффект. Площадь под кривыми электродиализного тока от времени, пропорциональная количеству перенесенного заряда, также, зависит от наличия и полярности магнитного поля. При напряжении питания 1,5 В форма осциллограммы более случайна из-за более медленного образования газовых пузырьков на катоде и более случайного характера их отрыва.

Время достижения максимального значения электродиализного тока в магнитном поле в растворе хлорида натрия (полностью парамагнитные ядра) зависит от наличия магнитного поля. Для водного раствора соли, имеющей значительно меньше парамагнитных ядер (NiCl), время достижения максимального значения электродиализного тока практически не зависит от наличия и полярности магнитного поля.

Анализ процессов в различных системах в электродиализной ячейке, находящейся в магнитном поле, дополнительно показывает следующее. Магнитное поле ориентирует молекулы воды, что увеличивает электродиализный ток. Противоионы в ионообменных смолах имеют избыточный электрический заряд. Поэтому в магнитном поле увеличивается скорость обмена ионами в смоле за счет искривления (удлинения) траектории тепловых колебаний противоионов. Наводимые внешним воздействием магнитные поля в смоле также оказывают воздействие на условия ионного обмена между смолой и раствором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан В.А., Мышкин В.Ф., Цхе А.А., Симоненко В.Ю. Электродиализ водных растворов в магнитном поле // Известия вузов. Физика. - 2013 - Т. 56 - №. 4/2. - С. 321-325.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РТУТИ ИЗ РТУТЬСОДЕРЖАЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ШЛАМОВ

Лемякин А.Э.¹, Мирзоев С.Р.²

Научный руководитель: Видяев Д.Г.², д.т.н., доцент

¹ОАО «Новосибирский завод химконцентратов» 630110, г. Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94

²Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: nekarb@sibmail.com

Изотоп литий-7 широко используется в ядерной энергетике. Так гидроксид лития-7 моногидрат применяют как добавку в теплоноситель первого контура реакторов типа PWR для корректировки водно-химического режима, а получают данное соединение электролизом на ртутном растворе [1]. В результате потерь ртути образуются ртутьсодержащие технологические шламы, требующие переработки с целью концентрирования, извлечения и возврата ртути в технологический процесс.

В представленной работе рассмотрены результаты испытаний гравитационного (гидроциклонного) и центробежного способов извлечения из промышленных отходов жидкометаллической ртути. Анализ эффективности указанных способов проводился на специально разработанной экспериментальной установке по степени извлечения и составу примесей извлекаемой и остаточной проб.

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

В результате 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 распульповки, в то время как центробежный метод не справляется с повышенной нагрузкой по ртути.

На основе полученных экспериментальных данных был сделан 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.

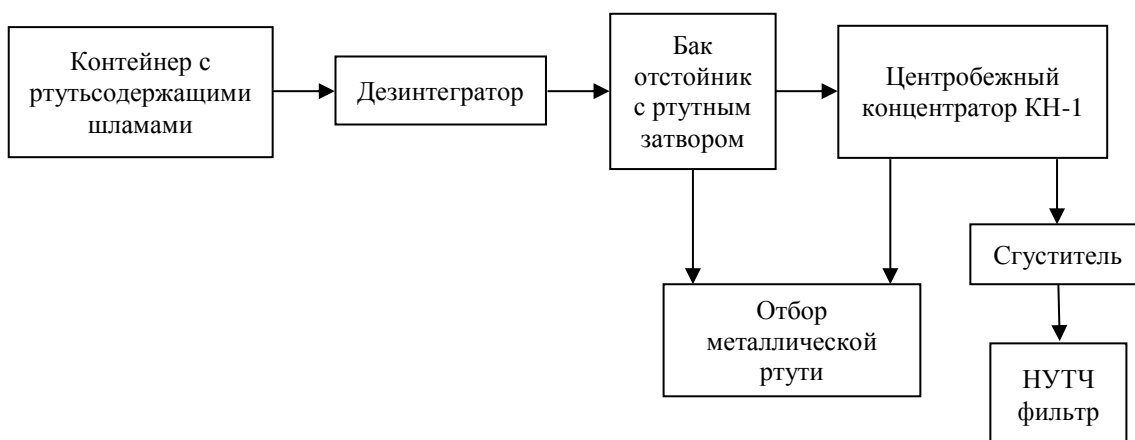


Рисунок. Схема установки для извлечения ртути из технологических шламов

Принцип работы установки заключается в следующем: из контейнера ртутьсодержащий шлам загружается в дезинтегратор, где происходит его распульповка. Образовавшаяся пульпа направляется в бак с ртутным затвором, где она отстаивается и из нее осаждается и периодически сливается металлическая ртуть. Из бака пульпа поступает в концентратор КН-1, где происходит тонкая отбивка остаточной металлической ртути. После центробежного извлечения обедненная пульпа поступает в сгуститель, после чего сухие и влажные шламы 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 установка, позволяющая эффективно перерабатывать технологические шламы с любым содержанием ртути.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Американские PWR могут столкнуться с дефицитом лития-7 [Электронный ресурс]// AtomInfo.Ru: эл. период. изд., 2006-2011. URL: <http://www.atominfo.ru/newsf/m0777.htm> (дата обращения: 22.07.2014).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБМЕНА ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ ИЗОТОПОВ В КОЛОННЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЖИДКОСТЬ–ЖИДКОСТЬ

Тесленок А.В.¹, Лемякин А.Э.²

Научный руководитель: Видяев Д.Г.¹, д.т.н., доцент

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

²ОАО «Новосибирский завод химконцентратов» 630110, г. Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94

E-mail: teslenokaljona@gmail.com

Область применения щелочных элементов и их изотопов чрезвычайно широка и распространяется на медицину, пищевую промышленность, оптику, электронику, металлургию и атомную энергетику. Так литий используется как легирующий компонент легких конструкционных сплавов, реагент-катализатор в органическом синтезе, компонент модифицирующих флюсов в металлургии сплавов из цветных металлов. Соединения лития являются сырьём для получения катодных материалов, а в ядерной энергетике гидроксид лития, например, обогащенный по литию-7, применяют в качестве добавки в теплоноситель ректора для корректировки водно-химического режима. Потребность в литиевой продукции и требования к её чистоте ежегодно увеличиваются.

При разделении или очистке металлов задача заключается в удалении из исходной смеси находящихся там наряду с данным целевым элементом примесей или выделении его из смеси. Наибольшее практическое применение для разделения элементов получили многоступенчатые процессы, осуществляемые в противотоке двух фаз в разделительных колоннах.

Как известно из литературных источников [1–3], для очистки соединений лёгких щелочных металлов и разделения их изотопов широкое применение в промышленности нашли два, реализуемые в системе жидкость–жидкость, химобменных метода разделения. Одним из таких методов является высокоэффективный амальгамный обмен, основной недостаток которого – использование токсичной ртути. Другим способом разделения щелочных элементов и их изотопов является экстракция, так как обладает хорошими разделительными характеристиками и принципиальной возможностью организации непрерывного обменного процесса в колоннах.

Однако, не все экстракционные системы применимы для колонного разделения. Проведение натурных испытаний пригодности той или

иной вновь найденной системы связано с большими материальными затратами, поэтому экономически невыгодно. В связи с этим становятся актуальными исследования, направленные на проведение численного анализа параметров и оптимизации работы экстракционной колонны в зависимости от условий ее эксплуатации. Данная работа является частью этих исследований и ставит перед собой цель – разработать математическую модель и программу расчета основных параметров массообмена в системе жидкость-жидкость, протекающего в насадочной колонне, и апробировать их на процессе экстракции.

В результате проделанной работы для системы жидкость–жидкость создана математическая модель массообменного процесса протекающего в насадочной колонне. Данная модель послужила основой для написания программа расчета, которая позволяет определить в частности следующие параметры процесса элементного обмена в колонне:

- размеры и характеристики элементов насадки в зависимости от физико-химических свойств взаимодействующих фаз;
- максимальные объемные расходы и соотношение расходов сплошной и дисперсной фаз на основе значений их критических скоростей движения в колонне;
- геометрические размеры распределителя дисперсной фазы и обменной колонны в целом;
- параметры, характеризующие массопередачу в обеих фаз.

С помощью разработанной программы был проведен расчет экстракции диэтиламина из разбавленного водного раствора толуолом, так как согласно литературным данным толуол является перспективным растворителем высокоэффективных краун-эфиров используемых для экстракции щелочных металлов и в частности лития. Кроме того, в литературе имеются экспериментальные данные для выбранной системы, что давало возможность проверить адекватность полученные результаты.

Расчеты показали, что расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 15%. Следовательно, разработанную модель можно рекомендовать для практического использования при исследовании процесса обмена в системе жидкость-жидкость в насадочной колонне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 93008155 РФ МПК 6 С 25 В1/42. Установка очистки гидроксида калия / И.М. Белозеров, А.И Белосохов, Г.Г. Горовой и др.; Заявл.

11.02.93; Оpubл. 20.01.96.

2. Экстракция металлов фенолами/ А.И. Холькин, Л.М. Гиндин, Л.С. Маркова, И.С. Штильман; Под. ред. А.В. Николаева. – Новосибирск: Наука, 1976. – 192 с.

3. Андреев Б. М., Зельвенский Я.Д., Катальников С.Г. Разделение стабильных изотопов физико-химическими методами. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 208 с.

Секция 4

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

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

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДА ЛЮТЕЦИЙ-177 НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т

Зукау В.В., Кабанов Д.В.

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

zukau@tpu.ru

Методика лечения опухолей костных тканей и внутренних органов радиофармацевтическими препаратами на основе радионуклида лютеций-177 является одной из последних разработок в области ядерной медицины. В отличие от других, данная методика отличается минимальным токсикологическим действием на организм пациента. Широкое применение данного изотопа стало возможным только после разработки метода обогащения лютеций-176 из природной смеси изотопов до содержания не менее 82 %

Основным производителем лютеций-177 в РФ является ГНЦ НИИАР (г. Димитровград), однако он не способен полностью удовлетворить потребности в данном виде изотопной продукции. В связи с этим является актуальным исследование возможностей получения высокоактивных препаратов (до 25Ки/мг) лютеций-177 на среднеточных реакторах типа ИРТ.

Таблица 1. Ядерно-физические характеристики некоторых изотопов лютеция

Изотоп	σ (0,0253 эВ), барн	RI, барн
Lu-176	2090	1087
Lu-177(оценка)	1018	93000
Lu-177m	2,10	1,41

Проведенные расчеты, с учетом данных представленных в таблице 1, показывают, что после 9-10 суток облучения в нейтронной ловушке ИРТ ($1,4 \cdot 10^{14}$ нейтр/см²·с) выход реакции второго порядка сопоставим с количеством образующихся ядер целевого изотопа по реакции первого порядка, т.е. дальнейшее увеличение времени облучения приводит только к снижению удельной активности лютеция-177. Учитывая высокое сечение захвата нейтронов, при облучении следует использовать навески массой не более 1,0 – 1,5 мг по лютецию, а вещество мишени максимально «размазывать» по поверхности ампулы.

Для подтверждения проведенных расчетов нами была облучена мишень с оксидом лутеция (степень обогащения по лутецию-176 – 84,5%) массой 1 мг по металлу. Облучение проводили в бериллиевой нейтронной ловушке (ЦК) реактора ИРТ в течение 97 часов. После недельного «охлаждения» проводили измерение удельной активности образовавшегося лутеция-177 с использованием активомера Dose Calibrator ISOMED 2010 (Германия). Полученное значение удельной активности на момент окончания облучения составило 12,8 Ки/мг, что позволяет сделать вывод о возможности производства указанного радионуклида с активностью не менее 25 Ки/мг. Имеющаяся тяжелая радиационно-защитная техника позволяет производить манипуляции по распаковке и перегрузке облученных мишеней в транспортные комплекты для отправки потребителям.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА ФОСФОРА-32 В ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т

Родионов А.В., Неклюдов А.А., Чибисов Е.В.

Научный руководитель: Меркулов В.Г., с.н.с.

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

E-mail: merkvg@tpu.ru

Соединения, меченные радионуклидом фосфор-32, широко используются в области молекулярной биологии и нанобиотехнологии для исследования живых систем и биомолекул. Другая немаловажная социально направленная область использования радиоизотопа фосфор-32 – это его применение в качестве терапевтического или диагностического средства в ядерной медицине.

Нарабатывают радионуклид фосфор-32 на ядерных реакторах, облучая фосфора-31 тепловыми нейтронами, или из серы-32 при активации стартовых мишеней быстрыми нейтронами. Второй способ является предпочтительным, т.к. в этом случае целевой радионуклид выделяют в радиохимически чистом виде без носителя с высокой мольной активностью фосфора-32, что особенно важно при проведении дальнейших исследований в области молекулярной биологии и ядерной медицины.

Ядерная реакция $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$ является пороговой (3,2 МэВ), вследствие чего наработку радионуклида фосфор-32 необходимо осуществлять в активной зоне реактора с наиболее высокой плотностью потока быстрых нейтронов. С этой целью был изготовлен и установлен в шести-трубную

ТВС (ИРТ-3М), расположенную в ячейке 5-6 активной зоны реактора ИРТ-Т, новый вертикальный «мокрый» экспериментальный канал.

Размещенный канал выполнен из сваренных между собой алюминиевых труб разного диаметра. Верхняя его часть состоит из трубы с наружным диаметром 36 мм и толщиной стенок 2 мм, нижняя имеет размер 28×1 мм и длину 700 мм. Снизу канала приварено дно, в центре которого выполнено отверстие диаметром 5 мм. В стенках канала на высоте 850 мм от его дна выполнены два диаметрально расположенные отверстия такого же диаметра.

Для определения пространственного распределения нейтронного потока использовали протяженный детектор – медную проволоку. Распределение наведенной активности проволоки по ее длине показало, что максимальная плотность нейтронного потока находится на высоте 300-400 мм от дна нового экспериментального канала. С целью фиксирования мишени в зоне с наиболее высокой плотностью нейтронного потока была изготовлена и помещена в канал вставка длиной 280 мм.

Экспериментальное определение плотности потока быстрых нейтронов определяли с помощью серных детекторов (^{32}S) из набора активационных комплектов АКН с известным содержанием атомов серы ($6,02 \times 10^{21}$). Детекторы представляет собой образец вещества массой 340 мг в виде диска, диаметром 10 мм и толщиной 2 мм, полученный прессованием элементарной серы с добавкой 1% графита, в стандартной герметизированной упаковке из полиэтилена. Детекторы, по 2 шт., герметично запаивали в кварцевые ампулы диаметром 18 мм, длиной 100 мм и облучали новом экспериментальном канале в течение 30 минут при мощности реактора ИРТ-Т 50 КВт. Измерение активности фосфора-32, с использованием эталонного $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ источника, проводили по стандартной методике на специализированной радиометрической установке ОСУ-П. В Таблице 1 представлены результаты расчетов плотности потока быстрых нейтронов в экспериментальном канале 5-6 и удельной активности наработанного фосфора-32 в пересчете на мощность реактора 6 МВт.

Таблица 1. Результаты измерения и расчетов экспериментальных данных

№ детектора	Плотность потока нейтронов ($E > 3$ МэВ), $\text{н}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$	Удельная активность, $\text{МБк}(^{32}\text{P})/\text{г}(\text{S})$	Примечание
S1	$7,89 \times 10^{12}$	57,32	Начало компании (Закружена «свежая» ТВС в АЗ ИРТ-Т)
S2	$7,90 \times 10^{12}$	57,09	

S3	$5,61 \times 10^{12}$	55,14	Окончание компании (Перед загрузкой «свежей» ТВС в АЗ ИРТ-Т)
S4	$5,32 \times 10^{12}$	52,25	

Представленные результаты однозначно подтверждают возможность организации производства радионуклида фосфор-32 и меченых нуклеотидов на его основе на среднепоточном ядерном реакторе ИРТ-Т ТПУ.

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОТОПНОЧИСТЫХ КРИСТАЛЛОВ α -СЕРЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Журавлёв Н.А., Акимов Д.В.

Научный руководитель: Егоров Н.Б., к.х.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30
E-mail: kinglion93@mail.ru

В настоящее время, благодаря, отработанной технологии разделения стабильных изотопов стало возможно получать высокочистые материалы практически со 100 % - ным однородным по различным изотопам составом. Это повлекло за собой многочисленные исследования влияния моноизотопного или изотопноизмененного состава на их термодинамические, структурные и оптические свойства [1].

Изотопы серы применяются в биологии, геологии, геохимии, экологии, агрохимии, археологии и медицине. Для разделения стабильных изотопов серы используют центрифужный способ, с помощью которого можно получать изотопы с предельной степенью обогащения. В качестве рабочего вещества для разделения используется летучее соединение серы - SF_6 . После наработки на разделительных каскадах изотопнообогащенный SF_6 необходимо перевести в форму пригодную для хранения и реализации, которой является элементная сера. Конверсия SF_6 в элементную серу должна отвечать требованиям по минимизации потерь, исключением изотопного разбавления и достижением необходимой химической чистоты.

Целью настоящей работы является получение, очистка и исследование свойств стабильных изотопов серы.

Для получения S из SF_6 используют реакции восстановления с использованием щелочных металлов, порошкообразного железа и

гидрида кальция. Для получения элементной S в работе мы использовали реакцию восстановления SF₆ металлическим литием. Была отработана технологическая последовательность получения стабильных изотопов S, позволившая получать изотопы серы с выходом 97 %. После получения изотопы S содержали еще некоторое количество примесей. Поэтому изотопы очищали дистилляцией в вакууме.

В экспериментальной работе использовали изотопы серы производства ОАО «Сибирский Химический Комбинат». С изотопной чистотой: ³²S – 99,9 %, ³³S – 99,4 %, ³⁴S – 99,9 %. Химическая чистота изотопов составляла более 99,9 %. Химическую чистоту стабильных изотопов серы проверяли на рентгено-флуоресцентном спектрометре Quant`X и атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой iCAP6300 Duo.

Определение параметров решетки изотопов проводился на дифрактометре D8 Discover (CuK-излучение). КР спектры поликристаллических образцов серы регистрировали при комнатной температуре, с использованием ИК-Фурье спектрометра Nicolet 5700 с Raman модулем с разрешением 1 см⁻¹ (лазер Nd: YAG, λ=1064 нм, 516 мВт).

Для получения химически чистой ромбической модификации серы (-S), изотопы после трехкратной дистилляции в вакууме растворяли при нагревании в толуоле с последующей кристаллизацией при комнатной температуре. Для получения химически чистой моноклинной модификации серы (β-S) после дистилляции кристаллизация проводилась из нагретого толуола.

Из полученных дифрактограмм рассчитаны параметры решеток изотопов серы и определено, что с увеличением атомной массы изотопа их значения уменьшаются. Такое наблюдение связано с тем, что амплитуда колебаний легких атомов около своего равновесного положения больше, чем для тяжелых атомов.

Были получены КР спектры изотопов серы, из которых были получены зависимости экспериментальных частот колебаний от атомной массы (коэффициент корреляции 0,98 - 0,99). Полученные зависимости позволили рассчитать частоты колебаний в КР-спектре стабильных изотопов, для которых затруднительно получить экспериментальные данные в связи с тем, что эти изотопы не имеют товарных продуктов с высоким изотопным обогащением и очень дороги.

Таким образом, в данной работе предложен способ получения стабильных изотопов серы с химической чистотой более 99,9 % и выходом 97 %. Определены параметры решеток и показано, что с

увеличением атомной массы изотопа их значения уменьшаются. Получены спектры КР изотопов серы и выведены зависимости экспериментальных частот колебаний от их атомной массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плеханов В.Г.//Успехи физических наук. 2003. Т. 173. № 7. С. 711.

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОТОПНООБОГАЩЕННОГО СВИНЦА ИЗ ТЕТРАМЕТИЛСВИНЦА

Индык Д.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: akimov@tpu.ru

Для получения изотопов элементов, имеющих летучие соединения, применяют центрифужный метод разделения, что связано с его достаточно высокой экономической эффективностью. Обогащенные центрифужным методом стабильные изотопы за исключением инертных газов применяются в основном в твердофазном состоянии, как правило, в элементном виде или в виде оксидов. Поэтому требуются специальные технологии, позволяющие доводить изотопнообогащенные вещества до товарной формы.

Технологии получения товарных форм стабильных изотопов должны отвечать требованиям по минимизации потерь, исключением изотопного разбавления и достижением необходимой химической чистоты. При этом технологии восстановления изотопных соединений должны быть универсальными, т.е. позволяющими получать изотопы как в граммовых, так и многокилограммовых количествах.

Одним из перспективных материалов для атомной энергетики является свинец который предложено использовать в качестве малоактивируемого теплоносителя в быстрых реакторах и в электроядерных установках [1].

Из всех металлоорганических соединений ($\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$, $\text{Sn}(\text{CH}_3)_4$, $\text{Cd}(\text{CH}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{CH}_3)_2$, $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$), используемых в настоящее время для разделения изотопов металлов $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ наиболее реакционноспособный, что связано с меньшей термодинамической стабильностью связей углерод-металл вследствие увеличения их межатомных расстояний. Поэтому $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ термически и фотохимически неустойчив, а также способен к dealкилированию в

присутствии галогенов или их содержащих соединений [2]. Термические и фотохимические свойства $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ достаточно подробно изучены в работах [3, 4]. Использование галогенов для деалкилирования $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ с технологической точки зрения более пригодно, чем использование для этих целей пиролиза и фотолиза, так как в этом случае возможно получить химически чистый свинец при его максимальном выходе.

В настоящей работе описан один из возможных химических вариантов получения изотопнообогащенного металлического свинца из изотопнообогащенного $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$, соединения, используемого в качестве рабочего вещества в центробежном процессе разделения стабильных изотопов свинца.

На рисунке 1 представлена технологическая схема получения изотопнообогащенного металлического свинца из изотопнообогащенного $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$.



Рис. 1. Схема получения металлического свинца из $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$

Таким образом, предложена схема получения изотопнообогащенного металлического свинца из изотопнообогащенного $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ с выходом не менее 97% и химической чистотой не менее 99,9%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорасанов Г.Л., Иванов А.П., Блохин А.И., Прусаков В.Н., Чельцов А.Н., Соснин Л.Ю. Пути снижения затрат на утилизацию свинцового теплоносителя быстрого реактора за счет его обогащения свинцом-206. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 2001, № 2, с. 80-85.
2. Кочешков К.А., Землянский Н.Н., Шевердина Н.И., Панов Е.М. Методы элементоорганической химии. Германий, олово, свинец. М.:Наука, 1968, с. 704.
3. Philip A. R., Raymond A. M. The photolysis of lead tetramethyl and lead tetraphenyl. J. Am. Chem. Soc., 1936, V. 58, p. 448 – 454.

4. Pratt G. L., Purnel J. H. Pyrolysis of tetraethyl lead. Trans. Faraday Soc., 1964, V. 60, p. 519 – 526.

СИНТЕЗ НАНОКОЛЛОИДОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Садкин В.Л., Стасюк Е.С., Варламова В.Н., Рогов А.С.,
Нестеров Е.А., Ильина Е.А., Ларионова Л.А.

Научный руководитель: Скуридин В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30.

E-mail: sv1946@rambler.ru

В последние годы, меченные технецием-99м (^{99m}Tc) наноразмерные коллоиды различного состава широко применяются в медицине для диагностики воспалительных процессов, выявления «сторожевых» лимфатических узлов у онкологических больных, для мечения аутолейкоцитов и пр. Исходной предпосылкой для использования оксидов алюминия в качестве «носителя» метки ^{99m}Tc является его достаточно низкая токсичность в сочетании с хорошими адсорбционными свойствами, доступностью и низкой стоимостью. В качестве объекта исследований в работе использовался нанопорошок гамма- Al_2O_3 с размером частиц 7 нм, полученный из гидроокиси алюминия путем циклического нагревания до 500°C .

С целью получения устойчивых соединений ^{99m}Tc с оксидом Al_2O_3 предварительно было исследовано влияние кислотной активации оксидов на величину их сорбционной емкости по ^{99m}Tc , имеющего различную степень окисления, в статических условиях проведения адсорбции. В качестве восстанавливающего агента использовался олова (II) хлорид дигидрат ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). В результате было установлено, что максимальная адсорбция ^{99m}Tc наблюдается на оксидах Al_2O_3 , обработанных раствором HCl из расчета $2 \cdot 10^{-4}$ моль на 1 г оксида, что соответствует значению pH раствора коллоида 5,6. В этих условиях величина адсорбции ионов $^{99m}\text{Tc(VII)}$ составляет около 30 %, а восстановленных ионов $^{99m}\text{Tc(IV)}$ – более 90 %. Методом фильтрации полученного продукта через фильтр с диаметром пор 100 нм установлено, что в последнем случае выход меченного нанокolloида превышает 98 %. При этом адсорбированный на оксиде $^{99m}\text{Tc(IV)}$ не смывается физраствором (0,9 % раствором NaCl), что говорит об устойчивости соединения. Исследование хроматограмм показало присутствие в полученном продукте кроме $^{99m}\text{Tc(VII)}$ двух

восстановленных форм ^{99m}Tc . Возможно, одной из них является $^{99m}\text{Tc(V)}$.

Медико-биологические испытания меченного ^{99m}Tc оксида Al_2O_3 проводились на белых крысах-самцах линии "Вистар" массой 300-350 г. Паховый лимфатический узел у всех животных четко визуализировался на 15 мин, когда в нем аккумуляровалось от 1,2 до 2,1 % от введенного количества меченного коллоида. Показана принципиальная возможность использования полученного соединения для проведения лимфосцинтиграфии.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОДУЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОИЗОТОПА ТЕХНЕЦИЯ-99М (^{99m}Tc)

Рогов А.С., Солдатов Ю.И., Зукау В.В.

Научный руководитель: Скуридин В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30.

E-mail: rogov@tpu.ru

Радиоизотопные препараты (РФП) на основе короткоживущего радионуклида технеция-99м (^{99m}Tc) используются для проведения исследований в большей части направлений медицинской диагностики.

Большая часть мирового рынка приходится на хроматографические генераторы ^{99m}Tc , которые удобны в эксплуатации и могут быть транспортированы на большие расстояния. Для их изготовления требуется высокоактивный (более 200 Ки/г) ^{99}Mo , выделяемый из продуктов деления урана-235 по экологически небезопасным технологиям. Технология экстракции являются концентрирующей и для изготовления генераторов, основанных на этом методе разделения, может быть использован природный или обогащенный до 98% Mo с удельной активностью 2-8 Ки/г, полученный по безотходной реакции радиационного захвата (n,γ). Такое сырье может производиться на, широко распространенных в мире, среднеточных ядерных реакторах. За счет этого стоимость препарат из экстракционного генератора в несколько раз ниже, также препарат обладает высокой радионуклидной и химической чистотой, на порядок превышающей РФП получаемых по другим технологиям.

Основная масса экстракционных генератор представленных на мировом рынке имеют ряд существенных недостатков: большие габариты установки, обусловленные, как правило, размерами экстрактора; необходимость при эксплуатации использования тяжелой

биологической защиты; время получения препарата (1,5 – 2 ч); высокие требования к квалификации обслуживающего персонала. Указанные обстоятельства не позволяют использовать такие установки непосредственно в радиологических лабораториях медицинских учреждений. В этой связи, целью работы явилась разработка принципов действия и создание компактного автоматизированного комплекса, предназначенного для экспрессного получения препаратов технеция- ^{99m}Tc в условиях медицинских лабораторий.

Для решения указанных проблем нами был разработан автоматизированный комплекс рис-1. В его комплект входит сменный (мобильный) экстрактор, генераторный блок, включающий хроматографическую колонку с оксидом Al_2O_3 , флаконы с метилэтилкетон, водой для инъекций и физраствором а также емкости для сбора экстрагента, промывной воды и готового препарата ^{99m}Tc . Электронный блок управления включает комплект воздушных и жидкостных электроуправляемых клапанов. К вспомогательному оборудованию комплекса относится вакуумный насос с ресивером и запорный игольчатый вентиль. Разрежения воздуха в системе контролируется с помощью электронного манометра, сигнал с которого поступает в блок управления.

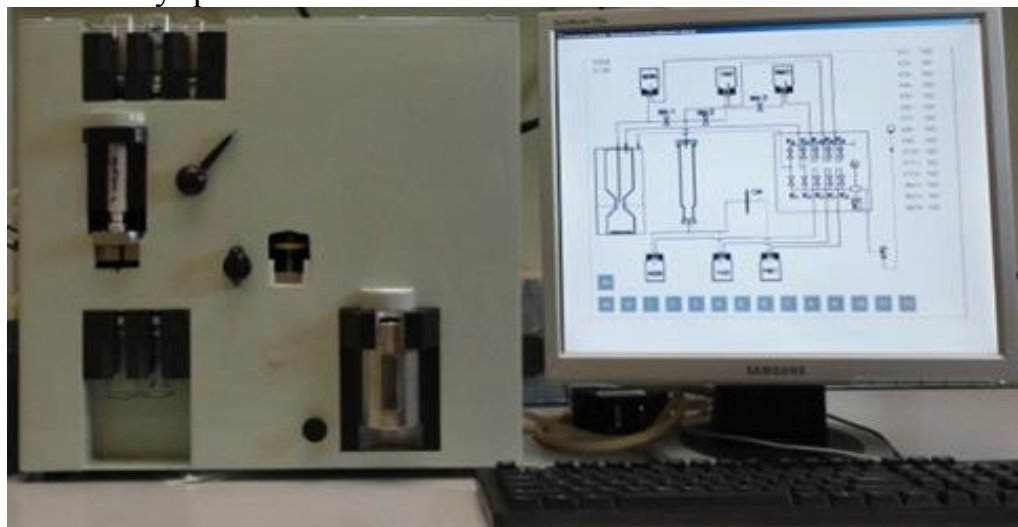


Рисунок-1 Малогабаритный автоматизированный модуль получения технеция- ^{99m}Tc

Также проведена разработка программного обеспечения, которое позволяет обеспечить контроль за ходом процессов происходящих в экстракционно-хроматографическом комплексе в режиме реального времени.

**МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ
НАНОКОЛЛОИДНОГО РАДИОФАРМПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ
МЕЧЕНОЙ ТЕХНЕЦИЕМ-99М МОДИФИЦИРОВАННОЙ
МОЛЕКУЛЫ ДТПА**

Рогов А.С., Стасюк Е.С., Варламова Н. В., Нестеров Е.А.,
Садкин В.Л., Ильина Е.А.

Научный руководитель: Скуридин В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30.

E-mail: svs1946@rambler.ru

Применение радиоактивных нанокolloидов в онкологии основано на возможности эффективного выявления «сторожевых» лимфатических узлов (СЛУ), которые являются «капканом» для злокачественных клеток, поэтому их биопсия является объективным диагностическим критерием распространения злокачественного процесса.

В последние годы, оптимальным методом выявления СЛУ считается использование меченных технецием-99м (^{99m}Tc) наноразмерных коллоидов для сцинтиграфического или радиометрического определения локализация лимфатического узла. Короткоживущий радионуклид технеций-99м на сегодняшний день является наиболее востребованным для проведения подобных диагностических исследований. В первую очередь это связано с его ядерно-физическими характеристиками: относительно коротким периодом полураспада (6,02 ч) и энергией излучения 0,140 МэВ, обеспечивающих малую экспозиционную дозу, и вместе с тем достаточную проникающую способность для проведения радиометрического исследования.

В качестве коллоидообразующей субстанции были взяты соединения на основе химически модифицированной молекулы ДТПА, проявляющие определенное сродство с молекулой белка - наличие амидной (пептидной) связи, существование в цвиттер-ионной форме. Исходной предпосылкой для использования ДТПА в качестве хелатора радиоактивной метки является способность как самой молекулы ДТПА, так и ее производных, образовывать достаточно стабильные комплексы с различными металлами и в том числе с соединениями технеция-99м.

В результате проведенных исследований были определены условия получения радиоактивного нанопрепарата на основе модифицированной молекулы ДТПА. Показано, что при прямом взаимодействии раствора элюата ^{99m}Tc с раствором смеси ДТПАмод и

SnCl₂ содержание радиохимической примеси (РХП) невосстановленного ^{99m}Tc (VII) в меченном препарате нанокolloида составляет 2,7 %, а выход нанокolloида с размером частиц 100-50 нм составляет около 80 %.

Результаты сцинтиграфических исследований показали, что после инъекции препарат активно поступает в лимфатическую систему, что доказывает функциональную пригодность модифицированных нанокolloидов для проведения лимфосцинтиграфии и визуализации «сторожевых» узлов.

Работа выполнена за счет средств субсидии в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности ТПУ.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭЛЮАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОРБЦИОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ТЕХНЕЦИЯ-99М

Рогов А.С., В.С., Стасюк Е.С., Нестеров Е.А., Садкин В.Л.
Научный руководитель: Скуридин В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30
E-mail: rogov@tpu.ru

Короткоживущий изотоп технеций-99м широко используется для проведения высокоинформативных диагностических исследований в различных областях медицины. На сегодняшний день, более 80 % всех радионуклидных исследований выполняется с использованием радиофармпрепаратов на его основе. Для получения изотопа технеция-99м используются установки называемые генераторами технеция.

Наибольшее распространения получили генераторы хроматографического типа. Мировое производство хроматографических (сорбционных) генераторов технеция-99м основано на использовании высоко активного ⁹⁹Mo (более 200 Ки/г), выделяемого из продуктов деления урана-235, что создает большие технические и экологические проблемы. Альтернативной возможностью для наработки ⁹⁹Mo является его получение по реакции радиационного захвата (n,γ) путем облучения молибдена-98 нейтронами ядерного реактора. Эта технология практически не имеет отходов, но получаемый продукт имеет низкую удельную активность ⁹⁹Mo на уровне 6-10 Ки/г. Использование для производства генераторов такого сырья, имеющего большое количество носителя в виде ядер стабильного молибдена, требует применения

колонок увеличенных размеров, что приводит к увеличению элюационного профиля генераторов и, как следствие, к снижению объемной активности выделяемого препарата технеция-99м.

Целью работы явилось исследование факторов, влияющих на элюационные характеристики генераторов технеция-99м, изготовленных из облученного нейтронами обогащенного молибдена-98 триоксида. В задачи исследований входило определение элюационных профилей генераторов с различной адсорбированной массой молибдена с последующим изучением характера распределения молибдена по длине хроматографических колонок путем их сканирования над детектором с коллимирующим устройством. В результате проведенных экспериментов показано, что с увеличением массы адсорбированного молибдена элюационный профиль генераторов сужается, достигая минимума при некоторой предельной массе, отвечающей максимальным сорбционным возможностям используемого сорбента - оксида алюминия. При изучении распределения молибдена в колонках генератора установлено, что величина его максимальной адсорбции (максимальной концентрации) непосредственно на входе колонок зависит от общей введенной массы молибдена, что свидетельствует о распаде сложных исходных полианионов и последующем перераспределении фрагментов на свободные активные центры оксида. При этом степень полимеризации n в пределах изменения массы молибдена от 180 до 70 мг уменьшается в 0,6 раз, что приводит к нелинейному изменению степени заполнения колонок молибденом. На этом основании высказано предположение, что незаполненные (вакантные) активные центры сорбента, присутствующие в выходной части колонок «тормозят» вымывание ^{99m}Tc из генератора, и их количество для достижения заданного выхода ^{99m}Tc должно быть строго регламентировано условиями предсорбционной подготовки оксидов Al_2O_3 .

Работа выполнена за счет средств субсидии в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности ТПУ.

ПОЛУЧЕНИЕ НОВОГО РАДИОФАРМПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ D-ГЛЮКОЗАМИНА МЕЧЕНОГО ТЕХНЕЦИЕМ-99М

Ильина Е.А., Стасюк Е.С., Рогов А.С., Нестеров Е.А.,
Садкин В.Л.

Научный руководитель: Скуридин В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30
wertache@mail.ru

Своевременная диагностика и выявление злокачественных новообразований на ранних стадиях развития остается одной из актуальнейших проблем современной медицины. По данным министерства здравоохранения и социального развития РФ за последние 10 лет смертность от онкологических заболеваний выросла до 13,8% и стала второй по значимости причиной смертности населения нашей страны. Ежегодно в России впервые выявляется около 480 тысяч случаев злокачественных новообразований. К сожалению, около 60% впервые регистрируемых пациентов выявляются на третьей и четвертой стадии заболевания, что значительно снижает возможности лечения. Эффективность медицинской помощи больным с онкологическими заболеваниями напрямую зависит от уровня развития и внедрения в медицинскую практику современных методов ядерной медицины.

Производные глюкозы, меченые радиоактивными изотопами, имеют большую перспективу для ранней диагностики злокачественных новообразований. Это связано с тем, что в клетках опухоли отмечается повышенный уровень метаболизма глюкозы по сравнению с нормальными клетками [1]. В настоящее время в России применяется один РФП на основе глюкозы, содержащий радионуклид фтор-18, используемый в позитрон-эмиссионной томографии (ПЭТ). Чувствительность ПЭТ-диагностики с использованием 2-[18F]-фтор-2-дезоксид-Д-глюкозы (18F-ФДГ) составляет 88–93%, специфичность – 84–87%. 18F-ФДГ используется для диагностики рака лёгкого, рака головы и шеи, головного мозга, пищевода, шейки матки, прямой кишки, лимфомы. Несмотря на высокую диагностическую информативность ПЭТ с использованием 2-[18F]-фтор-2-дезоксид-Д-глюкозы, широкое применение этого метода ограничено из-за его высокой стоимости, а также отсутствия в большинстве регионов России ПЭТ-центров. Главным достоинством РФП на основе производных глюкозы меченых технецием-99м является то, что визуализация опухоли с использованием таких РФП может быть произведена с помощью метода однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ), что

значительно снижает стоимость диагностической процедуры и делает ее более доступной, так как сейчас в стране существует более 200 ОФЭКТ-центров, а наиболее часто используемым радионуклидом для проведения ОФЭКТ исследований является технеций-99м. Поэтому целью данной работы стало изучение возможности получения меченых технецием-99м производных глюкозы, в частности D-глюкозамина гидрохлорида для последующего создания нового РФП на его основе.

Для получения исходного препарата ^{99m}Tc в виде раствора натрия пертехнетата, ^{99m}Tc использовали сорбционный генератор « ^{99m}Tc -ГТ-ТОМ» производства Физико-технического института ТПУ. Введение радиоактивной метки ^{99m}Tc в субстанцию D-глюкозамина гидрохлорида проводили путем смешивания в разной последовательности растворов, содержащих D-глюкозамин гидрохлорид и восстанавливающий агент SnCl_2 с элюатом технеция-99м из генератора. Для определения выхода комплекса ^{99m}Tc -глюкозамин и свободных пертехнетат-ионов использовали тонкослойную хроматографию на пластинах силикагеля «Sorbfil». Содержание гидролизованного оксида технеция ($^{99m}\text{TcO}_2$) определяли методом бумажной хроматографии на ватмане Filtrak-17 (Германия).

В результате проведенных исследований были определены условия введения радиоактивной метки ^{99m}Tc в структуру субстанции D-глюкозамина гидрохлорида и подобраны количественные составы реагентов для наработки опытных партий радиофармпрепарата D-глюкозамина, ^{99m}Tc с низким содержанием радиохимических примесей $^{99m}\text{Tc(VII)}$ и $^{99m}\text{TcO}_2$ с целью последующего проведения исследований на экспериментальных животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dimitriadis G., Maratou E., Boutati E., Psarra K. et al. Evaluation of glucose transport and its regulation by insulin in human monocytes using flow cytometry // *Cytometry A*. 2005. - V. 64. №1. – P. 27-33.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФИКСИРОВАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ИСТОЧНИКАХ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ БЕЗ ЖЕСТКОЙ ГЕОМЕТРИИ

Лобановская О.С.

Научный руководитель: Костылев А.И.

ОАО "Радиевый институт им В.Г. Хлопина", Санкт-Петербург,

Email: lobanovskaya.os@gmail.com

Целью работы является подбор технологичной полимерной матрицы для введения в нее органического носителя с фиксированным на нем радионуклидом.

Были рассмотрены следующие материалы: полиметилметакрилат, полистирол, полиуретановый пластик и эпоксидные смолы. В работе были использованы следующие материалы:

1) Эпоксидно-диановые смолы (ЭД-смолы) с количеством эпоксидных групп от 16,0 до 23,6 % и динамической вязкостью 5-20 Па•с: ЭД-16, ЭД-20, YD-128, отвержденные первичным алифатическим амином с молекулярной массой 230-250 г/моль - полиэтиленполиамином (ПЭПА). ЭД-смолы имеют широкое распространение в атомной технике и хорошо известен, прежде всего, своей радиационной стойкостью [1-3].

2) Ударопрочный полиуретановый пластик LasilCast с вязкостью 3,5 Па•с (аналог ABS) [4]. Его плотность близка к плотности воды, что позволяет, в некоторых случаях, имитировать им, при измерениях, радиоактивные водосодержащие растворы.

В ходе работы были исследованы различные рецептуры ЭД-смол, в том числе с добавлением полиуретанового клея и получены микрофотографии образцов, представленные на рисунках 1-5.

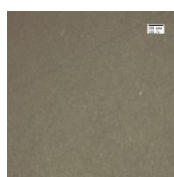


Рис. 1 -
YD-128 -
ПЭПА

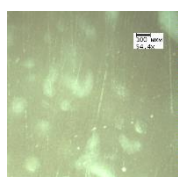


Рис. 2 -
YD-128 -
ПЭПА -
полиуретано-
вый клей

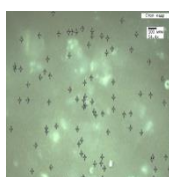


Рис. 3 -
YD-128 -
ПЭПА -
полиуретано-
вый клей -
органически
й носитель
радионуклид
а



Рис. 4 -
LasilCast

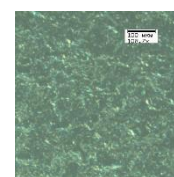


Рис. 5 -
LasilCast и
органически
й носитель
радионуклид
а

Выводы:

1 ЭД-16 дает плохо воспроизводимую равномерность распределения носителя радионуклида в образцах. При использовании ЭД-20 высокая

вязкость затрудняла равномерное распределение носителя. YD-128 показала оптимальные свойства.

2 Использование предварительного нагрева ЭС значительно снижает вязкость всех представленных составов, уменьшает количество пузырьков по объему, сближает технологичность изготовления, но для ЭД-16 и ЭД-20 требуется большая температура нагрева, чем для YD-128, однако, образцы из более жидкой смолы получаются менее прочными («короче» молекула полимера) и менее термостойкими [2].

3 YD-128 смола с повышенной прозрачностью (в слое до 5 см, а иногда и до 10-15 см желтизна практически неразличима), высокочистая, содержание омыляемого хлора на 1-2 порядка ниже, чем в ЭД-16 и ЭД-20.

4 Введение полиуретанового клея в массу YD-128 –отвердитель увеличивает вязкость, но позволяет более равномерно распределить органический носитель с фиксированным на нем радионуклидом по объему образца.

5 Образцы из полиуретанового пластика LasilCast имеют преимущественно более равномерную структуру и наиболее равномерное распределение органического носителя в объеме при сравнении с составами ЭД-смол. Но недостатком данного материала является его моментальное вспенивание в присутствии водных сред, что предполагает более тщательную подготовку носителя-наполнителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Компания «Титаник», поставщик ЭД-смол, используемых в работе.
- 2 Тихомиров В.Б. Полимерные покрытия в атомной технике. М.: Атомиздат; 276 стр.; 1965 г
- 3 Радиационная химия эпоксидных соединений/ Мелешевич А.В.; Отв. Ред. Кучер Р.В.; РАН УССР. Ин-т физ.химии им Л.В. Писаржевского.- Киев: Наук. Думка, 1989.-248с.
- 4 Каталог компании «ЛАССО», поставщика Двухкомпонентный ударопрочный полиуретановый пластик LasilCast.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕАКЦИИ ГОМОМОЛЕКУЛЯРНОГО ИЗОТОПНОГО ОБМЕНА ВОДОРОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА

Одинцов А.А.

Научный руководитель: Боева О.А., к.х.н., доцент
Российский химико-технологический университет им. Д.И.
Менделеева, 125047, Россия, Москва, Миусская пл., 9
E-mail: AlexanderOdintsov@yandex.ru

Изучение каталитических свойств наноразмерных систем в настоящее время является одной из важнейших задач науки. Актуальным вопросом в области катализа является изучение свойств благородных металлов, в частности, изучение взаимодействия наночастиц золота и серебра с молекулярным водородом в криогенных условиях. Удобным инструментом для выяснения ряда аспектов взаимодействия наночастиц металлов катализатора с водородом является простая модельная реакция гомомолекулярного изотопного обмена водорода.

Реакция дейтеро-водородного обмена достаточно проста, так как в ней участвуют компоненты одинаковой химической природы, она протекает в широком интервале температур, катализируется веществами разнообразной природы и вне зависимости от механизма протекания реакции описывается уравнением кинетики первого порядка.

В работе синтезированы наночастицы золота различных размеров, которые нанесены на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, выполняющий роль носителя активного компонента катализатора.

Для получения наночастиц золота с узким распределением наночастиц по размерам выбраны способы синтеза частиц в обратных мицеллах [1] и [2].

Суть способов заключается в восстановлении ионов золота в обратномицеллярном растворе, солюбилизированном молекулами воды и ПАВ в неполярном растворителе, до атомов с последующим их агрегированием.

Полученные в обратномицеллярных растворах наночастицы адсорбировались на носитель $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ с удельной поверхностью 200-220 м²/г (марка «Трилистник», производство Редкинского катализаторного завода). Процесс адсорбции на носитель контролировался спектрофотометрически.

Размеры наночастиц определены с помощью атомно-силового микроскопа EnviroScope 5.30.

Адсорбционные и каталитические исследования проводились на стеклянной высоковакуумной установке.

Адсорбция водорода изучена на всех образцах при температуре -196⁰С. Определена доля слабосвязанного водорода на поверхности катализатора, из чего сделан вывод о подвижности водорода на поверхности металла. По значениям величины адсорбции рассчитаны активные поверхности катализаторов.

Катализируемая наночастицами золота реакция изучена в широком диапазоне температур: от -196⁰С до 100⁰С при давлении 0,5 Торр.

В результате многочисленных экспериментов получены температурные зависимости удельной каталитической активности наночастиц золота, имеющие аналогичный характер для всех образцов катализаторов: в районе температур -140÷-100⁰С на зависимости наблюдается перелом и она разбивается на две температурные области с различными энергиями активации.

Наибольшую активность в реакции изотопного обмена водорода проявили самые мелкие наночастицы золота (0,7 нм), наименьшую – относительно крупные наночастицы золота (4,2 нм). Различие в величинах активности в низкотемпературной области составляет практически 10 раз.

Выявлена размерная зависимость удельной каталитической активности наночастиц золота: с уменьшением размера частиц, каталитическая активность возрастает, что схоже по характеру с размерной зависимостью удельной каталитической активности наночастиц серебра, известной из литературных данных [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ревина А.А. Патент РФ №2312741. Препарат наноразмерных частиц металлов и способ его получения. Бюл. 35. 2007.
2. Ревина А.А. Патент РФ № 2322327. Препарат наноструктурных частиц металлов и способ его получения. Бюл. № 11. 20.04.2008
3. Антонов А.Ю., Сергеев М.О., Нуртдинова К.Ф., Ревина А.А., Жаворонкова К.Н., Боева О.А. Размерные эффекты в каталитических свойствах серебра в отношении реакций гомомолекулярного изотопного обмена водорода // ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ. - 2012. - Вып. 7. - С. 402 – 413.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТАЛИ И АЛЮМИНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Годовых А.В., Чернозем Р.В., Ушаков И.А.

Научный руководитель: Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.
Ленина, 30
E-mail: gos100@list.ru

Современные системы автоматизации и телеметрии базируются на основе персональных компьютеров и микроэлектронных устройств. Дальнейшая миниатюризация микроэлектронных устройств, связанная с уменьшением массогабаритных показателей и энергопотребления, ограничивается возможностью теплоотвода. Поэтому актуальны исследования, связанные с исследованием влияния магнитного поля на теплопроводность твердых тел.

В экспериментах по лазерному испарению графита наблюдалось увеличение до 2,5 раз относительной скорости испарения графита для образца, помещенного в постоянное магнитное поле 0,2 Тл. При этом действие постоянного внешнего магнитного поля на процесс лазерного испарения графита носит резонансный характер. Это объясняли тем, что внешнее магнитное поле влияет на теплопроводность проводника [1].

Цель работы: определить влияние магнитного поля на теплопроводность алюминия и стали.

Для проведения экспериментальных исследований собрана установка, содержащая столик, на который устанавливали струбцину. В струбцине закрепляли испытуемый образец в форме параллелепипеда. Образцы по длинной стороне ориентировались горизонтально. С одного конца на образец надевали омический нагреватель, теплоизолированный как с наружной стороны. Электрическую изоляцию нагревателя от образца осуществляли с помощью асбестовой бумаги. Столик имеет две степени свободы: по вертикали и горизонтали. Магнитное поле создавалось с помощью постоянного магнита (остаточная намагниченность 1,2 Тл). Температура поверхности образца измерялась при помощи тепловизора модели Testo 881.

Для каждого образца экспериментально подбирали температуру и темп нагрева. Для этого в нескольких токах измеряли время нагрева до некоторой температуры при некотором токе через нагреватель. Определяли время, за которое образец нагревается, а скорость нагрева уменьшается незначительно. Далее во всех точках поверхности образца определяли температуру через этот промежуток времени для заданной величины тока питания нагревателя.

Графики распределения температуры по поверхности образцов, построенные по экспериментальным данным для алюминия и стали повторяются по своим характерным особенностям. Из относительной разности температур нагрева в магнитном поле и без поля для стального и алюминиевого стержней видно, что с уменьшением температуры уменьшается регистрируемый эффект воздействия магнитного поля. При этом изменение теплопроводности в магнитном поле значительно меньше, чем в экспериментах с лазерным пробоем.

Для оценки теплового эффекта в магнитном поле были использованы два металла, имеющих разные свойства с точки зрения взаимодействия с внешним магнитным полем. Природный алюминий моноизотопный элемент с парамагнитными ядрами. Железо, относящийся к ферромагнитным материалам с хаотично ориентированными магнитными доменами, имеет 4 изотопа. Из них ^{57}Fe с ядерным спином 0,5 составляет 2,1%. Совпадение экспериментальных графиков для Al и Fe, в пределах ошибки измерений, можно объяснить тем, что в металлах теплопроводность с помощью свободных электронов преобладает над остальными типами. При этом вклад упругих колебаний кристаллической решетки, наличие (отсутствие) ядерных или неспаренных электронных спинов имеет значительно меньшее значение.

В графите зависимость теплопроводности от магнитного поля должна быть аналогичной также из-за его электронного характера электрической проводимости. Регистрируемая резонансная зависимость количество испарившегося за один импульс лазерного излучения графита от величины магнитного поля может быть связана с действием поля на процесс нуклеации паров углерода. При этом чем меньше дисперсной фазы, тем большая часть энергии импульса излучения доходит до подложки и обуславливает испарение подложки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мышкин В. Ф., Ижойкин Д. А., Ушаков И. А. Исследование лазерного испарения изотопов углерода во внешнем магнитном поле // Известия вузов. Физика. - 2013 - Т. 56 - №. 4/2. - С. 202-204.

РАДИАЦИОННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ КРИСТАЛЛОВ НА ПРИМЕРЕ ТОПАЗОВ

Емец Е.Г., Головацкий А.В.

Научный руководитель: В.А. Варлачев, к.т.н.

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

E-mail: emecevgeniy@tpu.ru

Во время облучения под воздействием быстрых нейтронов в материале образцов образуются различного рода структурные нарушения, которые изменяют его свойства, например, происходит улучшение окраски полудрагоценных минералов, в частности топазов. Нейтронное облучение используется для придания топазам различного рода оттенков синего цвета (от светло-голубого до тёмно-синего) [1,2]. Это повышает их ювелирную ценность.

При нейтронном облучении возникают как простые, так и сложные дефекты (комплексы дефектов) в кристаллической структуре минералов. Смещенные из узла кристаллической решётки атомы образуют простые дефекты. Они образуются при энергии нейтронов всего в десятки электрон-вольт и приводят к помутнению кристалла, но их легко отжечь с помощью термообработки. Комплексы дефектов зависят от плотности простых дефектов, из которых они образуются. Таким образом, чем выше плотность простых дефектов, тем больше вероятность образования сложных. Поэтому вероятность образования сложных дефектов растёт с увеличением энергии нейтронов и достигает насыщения в дефектообразовании при энергии нейтронов в 1 МэВ. Именно комплексы дефектов создают электронные и дырочные центры окраски.

При создании радиационной технологии обработки топазов существует три важных фактора, которые необходимо принимать во внимание: производительность, температура облучения и удельная активность обработанных образцов. Производительность модификации зависит от объёма образцов в контейнере, от плотности потока нейтронов и их спектра, и чем он жёстче, тем выше производительность. Повышенная температура облучения может привести как к отжигу некоторых центров окраски, так и к помутнению и растрескиванию кристаллов. Наведенная активность топазов является ключевой проблемой, так как присутствие радиоактивности сводит к нулю потребительскую ценность этих минералов. Она определяется наличием примесей в составе образцов и нейтронным спектром, в котором проходила обработка. Таким образом, задачей настоящих

исследований является поиск таких условий, которые позволят значительно снизить наведенную активность топазов.

В работе показано, что наведенную активность, вызванную тепловыми нейтронами можно полностью подавить фильтрами, состоящими из карбида бора, и значительно снизить активность, вызванную резонансными.

На рисунке 1 показана зависимость удельной активности от диаметра канала, а на рисунке 2 приведен график зависимости влияния толщины фильтра из карбида бора на удельную активность топазов.

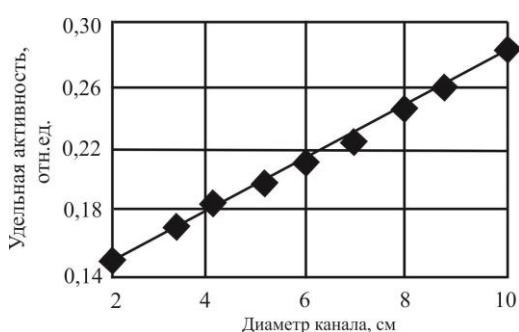


Рис.1. Зависимость удельной активности от диаметра канала (толщина В₄С – 5 мм)

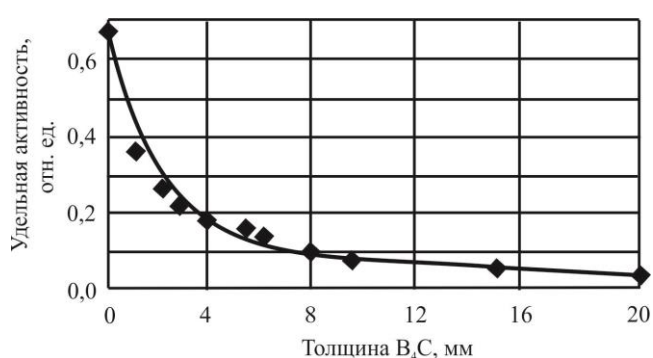


Рис.2. Влияние толщины В₄С на активность топазов (контейнер полезным диаметром 4 см)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов. – М.: Недра, 1984. – 195. с.
2. Элуэлл Д. Искусственные драгоценные камни. – М.: Мир, 1986. – 208 с.

КОМПЛЕКС НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СЛИТКОВ КРЕМНИЯ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т

Головацкий А.В., Емец Е.Г., Бутько Я.А.

Научный руководитель: В.А. Варлачев, к.т.н.

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

E-mail: franzuzs@ya.ru

Современная электронная промышленность невозможна без использования продукции радиационных технологий. Особенно наглядно это видно при создании новых приборов силовой электроники, которые создаются на основе нейтронного легированного (НЛ) кремния. Технология НЛ, среди всех существующих методов легирования кремния, позволяет получить наиболее высокую однородность электрофизических параметров полупроводников. Поэтому НЛ кремний широко используется в мировой практике для создания приборов с минимальным разбросом удельного электрического сопротивления (у.э.с.): тиристоры, приборы с зарядовой связью, СБИСы, детекторы излучений, фотоприемники [1]. Принципиальное отличие кремния, легированного нейтронами, от традиционных методов заключается в том, что легирующую примесь – фосфор не вводят в исходный материал извне, а она образуется в процессе облучения непосредственно из атомов легируемого материала:



В данном методе имплантации появляются большие возможности для контроля концентрации легирующей примеси. Кроме того, одним из важнейших преимуществ этого способа внесения фосфора в кремний является хорошая повторяемость результатов легирования и получение материала с заданными свойствами [2,3].

На реакторе ИРТ-Т в 1986 году была введена в действие установка для НЛ слитков кремния 4 дюйма с мировым уровнем качества[4]. Тем не менее, в настоящее время возросла потребность электронной промышленности в пластинах НЛ кремния диаметром 5 дюймов и выше. В связи с этим были проведены исследования параметров нейтронного поля в ГЭК-4 ИРТ-Т с целью выяснения возможности создания новой установки с большей производительностью для НЛ слитков кремния 5 дюймов.

В результате проведенных исследований была разработана теоретическая модель движения слитков кремния в зоне облучения. Реализация этой модели была осуществлена на горизонтальном экспериментальном канале ГЭК-4 ИРТ-Т. Кроме того была проведена

оптимизация параметров зоны облучения, которая позволила увеличить производительность установки в два раза заменой облучения одного контейнера на два.

По полученным результатам была создана автоматизированная установка для облучения слитков кремния длиной до 700 мм и диаметром до 130 мм. Пространственная неоднородность легирования не превышает 5%. Производительность установки для слитков кремния диаметром 5 дюймов на номинал удельного электрического сопротивления (у.э.с.) на 60 Ом*см равна 2 кг/ч. Качество НЛ кремния не уступает мировым стандартам.

На рисунке 1 приведена статистика неравномерности у.э.с. по длине НТЛ слитков, а на рисунке 2 показана статистика отклонений у.э.с. от номинала на торцах слитков.



Рис.1. Статистика неравномерности у.э.с. по длине слитков



Рис.2. Статистика отклонений у.э.с. от номинала на торцах слитков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство нейтронно-легированного полупроводникового кремния / пер. с яп. М. С. Маяновского // Атомная техника за рубежом. – 2008. – № 4. – С. 20–29.
2. Нейтронное трансмутационное легирование полупроводников: наука и приложения. // Физика твердого тела. – 1999. – Т. 41. – вып. 5.
3. Варлачев В.А. Кузин А.Н., Лыхин С.В. Солодовников Е.С. Усов Ю.П., Фотин А.В. Томский комплекс нейтронно-трансмутационного легирования кремния // Атомная энергия. – 1995. – т.79. – вып.1. – С.38–40.
4. Смирнов Л.С., Соловьев С.П., Стась В.Ф., Харченко В.А. Легирование полупроводников методом ядерных реакций. – Новосибирск: Наука, 1981. – 175 с.

**ПОЛУЧЕНИЕ ДИОКСИДА УРАНА
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ПИРОГИДРОЛИЗОМ
ОБОГАЩЕННОГО ГФУ**

Солоненко В.А., Бутов В.Г., Ящук А.А.

НИИ ПММ ТГУ, г. Томск пр. Ленина, 36

vik@niipmm.tsu.ru

В работе рассматриваются вопросы разработки математической модели расчета аэродинамических характеристик течения гетерогенного потока в реакторе установки получения порошка диоксида урана методом восстановительного пирогидролита гексафторида урана.

Согласно механизму химических процессов, после смешения UF_6 и H_2O непосредственно сразу после поступления в реактор происходит реакция пирогидролита UF_6 :



Пирогидролит UF_6 протекает при повышенных температурах (495-525°) и сразу же приводит к образованию дисперсного уранилфторида UO_2F_2 , т.е. без проявления кинетических факторов [1]

В разработанной модели считается, что процесс пирогидролита UF_6 по реакции (1) проводится по схеме подобно описанному в [2] процессу твердотельной нуклеации и росту кластеров на примере термического разложения оксалата железа ($Fe_2(C_2O_4)_3 \cdot 5H_2O$).

После того как частицы UO_2F_2 сформировались они реагируют с водородом H_2 , поступающим снизу от входа 2, согласно следующей реакции:



Результаты проведенных расчетов позволяют получить качественную картину аэродинамических процессов, проходящих внутри реакционной области.

При этом поведение дисперсных частиц в рабочей зоне реактора в зависимости от их размера носит разный характер. Из расчетов видно, что мелкие частицы (диаметром менее 33 мкм) двигаются вместе с потоком газа как вниз реактора, так и вверх к фильтрам, частично осаждаюсь в них, а крупные движутся только вниз реактора, накапливаясь в т.н. псевдооживленном слое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Н.Жиганов, В.В. Гузеев, Г.Г. Андреев. Технология диоксида урана для керамического ядерного топлива – Томск: СТТ. 2002. 328 с.

2. И.П. Суздалев. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. Изд. 2-е, испр. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 592 с.
3. А.Б. Ярославцев. Химия твердого тела – М.: Научный мир, 2009, 328 с.
4. Уилкоккс Д.К. Многомасштабная модель турбулентных течений // Аэрокосмическая техника, 1989, №11, с 47-60.
5. Канторович Б.В., Миткалинный В.И., Делягин Г.Н., Иванов В.М. Гидродинамика и теория горения потока топлива – М.: Металлургия, 1971, 488с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАМЕННОЙ ДЕНИТРАЦИИ РАСТВОРА И ПЛАВА УРАНИЛНИТРАТА

Солоненко В.А., Бутов В.Г., Ящук А.А.
НИИ ПММ ТГУ, г. Томск, пр. Ленина, 36
vik@niipmm.tsu.ru

В данной работе рассматриваются вопросы моделирования процесса пламенной денитрации раствора и плава уранилнитрата на установке, заявленной в технологии COMUREX [1] и предназначенной для проведения исследований по получению порошков оксидов урана.

В работе представлены: математическая модель пространственного турбулентного течения многофазной смеси, модель движения несжимаемой жидкости, выполняющей роль теплоносителя для исключения перегрева подаваемого в реакционную зону раствора (плава) уранилнитрата, а также модель сопряженного теплообмена между газом, жидкостью и твердыми телами, входящими в рассматриваемую область.

При моделировании аэродинамических, физических и химических процессов, происходящих в области горения смеси пропана и бутана (СПБ) и процессов дегидратации/ денитрации ГГУН, предполагается, что рассматривается закрученное двухфазное турбулентное течение газа и полидисперсных частиц гексагидрата уранилнитрата в активной зоне пламенного реактора термической денитрации (РТД).

В процессе работы была разработана математическая модель, позволившая уточнить температурные параметры работы как в пламенной горелке, предназначенной для сжигания пропан-бутановой смеси, так и в реакторе, где происходит дегидратации и денитрации частиц $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент US 5628048 (RU 2106308, патент действующий) Способ получения триоксида урана путем прямой термической денитрации водного раствора гексагидрата уранил нитрата, 1997.
2. Lehrer I. H. // Ind. End. Chem. Proc. Des. Devel. 1979. V.18. № 2. P. 297-300.
3. Каган С.З., Ковалев Ю.Н., Захарычев А.П. //ТОХТ 1973. Т.7. № 4. С.565-570.
4. Турбулентные течения реагирующих газов. Пер. с англ./ Под ред. П.Либби, Ф.Вильямса – М.: Мир, 1983, -328 с.
5. Канторович Б.В. Введение в теорию горения и газификации твердого топлива – М.: Metallurgizdat, 1960. – 355 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ И СПЕКАЕМОСТИ ПОРОШКОВ UO_2

Тундешев Н.В.¹, Тургали Б.К.², Тлеукунов Е.О.²

Научный руководитель: Каренгин А.Г.¹, к.ф.-м.н., доцент

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

²Государственный университет им. Шакарима, Республика
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А
E-mail: tundeshev93@mail.ru

Одной из приоритетных задач на сегодняшний день является снижение себестоимости конечной продукции – таблеток из порошков двуокиси урана. Одним из направлений снижения себестоимости является удешевление процесса спекания таблеток, а именно – снижение температуры спекания и увеличение производительности [1].

Цель работы: исследование и оптимизация активизации спекаемости таблеток из порошков двуокиси урана.

Для оценки влияния температуры прокали полиураната аммония (ПУА) на активность порошков UO_2 была проведена серия опытов. Цеховую пасту ПУА в лабораторных условиях прокалили при температурах 400, 500, 600 и 700 °С.

Полученные порошки U_3O_8 были восстановлены на лабораторной установке в течение часа при температуре 600 °С. Величина удельной поверхности порошков U_3O_8 , прокаленных при температурах 400, 500, 600 и 700 °С, составила, соответственно, 16,7; 10,13; 6,75; 3,05 м²/г.

Из порошков диоксида урана были изготовлены прессовки от каждого варианта прокали-восстановления. Результаты теста на

спекаемость, полученные для различных температур спекания, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты теста на спекаемость при различных температурах

№	S _{БЭТ} , м ² /г	Спекание при 1400°С,		Спекание при 1600°С,		Спекание при 1750°С	
		Плотность прессовок, г/см ³	Плот- ность спечен- ных таблеток, г/см ³	Плот- ность Прес- совок, г/см ³	Плот- ность спечен- ных табле- ток, г/см ³	Плот- ность прес- совок, г/см ³	Плот- ность спечен- ных табле- ток, г/см ³
1	7,4	5,35	10,07	5,32	10,59	5,42	10,82
2	5,5	5,59	9,44	5,33	10,48	5,59	10,73
3	3,5	5,44	8,80	5,45	10,38	5,44	10,69
4	Репер- ный вари- ант	5,22	8,37	5,22	10,38	5,22	10,65

Из таблицы 1 виден высокий уровень плотности таблеток из активных порошков UO₂. Средний размер зерна в таблетках также достаточно высок – 16÷19 мкм. Видно также, что чем выше величина удельной поверхности полученных порошков, тем выше плотность спеченных таблеток.

Однако, при температуре спекания 1400°С не достигается требуемой плотности таблеток даже для порошка UO₂ с S_{БЭТ}=7,4 м²/г, хотя и заметно выше по сравнению с реперными таблетками, приготовленными из цехового порошка.

Такая же зависимость наблюдается и при температурах спекания 1600°С и 1750°С. В этой серии опытов плотность таблеток из активного порошка достигала 10,59 г/см³ и 10,82 г/см³, а плотность реперных таблеток соответственно 10,38 г/см³ и 10,65 г/см³.

Заключение: Требуемый уровень плотности и доспекаемости таблеток достигается уже при температуре 1600°С при плотности прессовок 5,3 г/см³. Поэтому, данная технология АДУ поможет освоить технологию получения порошка UO₂ при заданных оптимальных режимах, удовлетворяющих требованиям компании САМЕСО (Канада).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Radford K.C., Pope J.M. Controlled porosity reactor fuel // Journal of Nucl. Mat. – 1977. – V. 64. – P. 289–299. ОЯТ <http://nauka.relis.ru/06/0111/06111040.PDF>.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫХОДА Rn-222 НА УЧАСТКЕ ЗАСТРОЙКИ Г. ТОМСКА

Шилова К.О., Иванов М.И., Матюшкина Ю.А., 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

Согласно нормам Санэпиднадзора территории застройки обследуются на радоноопасность [1]. В России при таком обследовании измеряют плотность потока радона (ППР) с поверхности грунтов строительной площадки. За рубежом в качестве критерия радоноопасности часто используют измеряемую на глубинах 0.8...1.0 м объемную активность радона (ОА) в почвенном воздухе. Исследования, проведенные разными авторами [2-4], показали, что измеряемые величины ППР и ОА не позволяют надежно оценить количество радона, выходящего из грунта.

В данной работе апробирован метод определения ППР, основанный на измерении ОА на двух небольших (не более метра), отличающихся в два раза глубинах [5]. В двенадцати точках выбранной строительной площадки г. Томска проведены измерения объемной активности Rn-222 в почвенном воздухе на двух глубинах и плотности потока радона. Сравнение результатов измерения ППР со значениями этой величины, полученными на основе измерения объемной активности на двух глубинах, показывает их различие на порядок и более.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства «Инженерно-экологические изыскания строительства» СП 11-102-97. М.: Госстрой России, 1997.
2. Кузнецов Ю.В., Ярына В.П., Проблема достоверности измерений плотности потока радона // АНРИ, 2001. №4.

3. Рыжакова Н.К., Раменская Г.А. Метод определения плотности потока радона и основных параметров грунтов, используемых при оценке радоноопасности территорий// АНРИ, 2009. № 4. С. 65 – 69.
4. Баннов Ю.А. Лаборатория радиационного контроля ООО “ГеоКон”, “Два года: опыт работы” // АНРИ, 2005. №2. С. 54 – 71.
5. Рыжакова Н.К., Яковлева В.С. Способ определения плотности потока радона с поверхности грунтов. Пат. на изобр. №2212688. Приоритет от 20.09.2003.

Секция 5

**ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ И ХРАНЕНИЯ ОТХОДОВ
ИЗОТОПНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС В УСЛОВИЯХ СТАНОВЛЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ГОСУДАРСТВА

Аусенов К.Ж.¹

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

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

²Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30

E-mail: kaussenov@mail.ru

Анализ эффективности строительства АЭС основывается на рассмотрении целого ряда факторов, в том числе экономических.

Имеется пять главных групп факторов, на рассмотрении которых базируется весь анализ эффективности строительства энергетических объектов:

- обеспечение здоровья и безопасности населения;
- общественное мнение;
- охрана окружающей среды;
- экономические;
- социально-экономические.

Важным аспектом анализа является выбор места размещения АЭС. Влияние места размещения связано со многими характеристиками природной и техногенной среды, такими как сейсмо–тектонические, геофизические, инженерно-геологические, гидрологические, аэрометеорологические, экологические, радиологические, условия землепользования, с окружающими технологическими производствами и коммуникациями.

Таким образом, анализ эффективности строительства АЭС является многофакторной задачей и окончательное заключение может быть сделано только после исследований всех характеристик и технико-экономической оценки.

Вопросу выбора площадки для высокотехнологических производств, включая АЭС, посвящено много работ. Наиболее сконцентрированная методология изложена в труде Р. Кини, а также в рекомендациях МАГАТЭ, на основании которых каждое государство, используя свою специфику, разрабатывает свою нормативно–правовую и нормативно-техническую документацию, определяющую критерии, условия, порядок и глубину исследований, достаточных для выбора площадки и обеспечения данными для проектирования ядерного объекта.

В результате проведенных исследований были получены методические положения анализа эффективности строительства АЭС, наиболее подходящие для условий Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решения. Под ред. Ю.И. Корякина. – Москва, Энергоатомиздат 1983 г.
2. Батырбеков Г.А., Маханов У.М. и другие. Системный сравнительный анализ проектов энергетических реакторов АЭС с водой под давлением типа PWR, ВВЭР разного диапазона мощностей. Сборник тезисов 9-й международной конференции «Ядерная и радиационная физика». Алматы, 2013.
3. Guidance for the application of an assessment methodology for innovative nuclear system. INPRO manual - overview of the methodology. IAEA - TECDOC-1575 Rev. 1. Nov. 2008.
4. IAEA Nuclear Energy Series. NP-T-1.12. Introduction to the Use of the INPRO Methodology in a Nuclear Energy System Assessment. IAEA, Vienna, 2010.

ИЗМЕНЕНИЕ КОНФИГУРАЦИИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ВВР-К С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ СБОРОК ПРИ ИХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Шаймерденов А.А., Гизатулин Ш.Х., Чекушина Л.В.

Научный руководитель: Аринкин Ф.М., к.т.н.

Институт Ядерной Физики, 050032, Казахстан, г.Алматы, ул.

Ибрагимова, 1

E-mail: aashaimerdenov@gmail.com

Исследовательский реактор ВВР-К Института ядерной физики Республики Казахстан переводится на топливо с обогащением 19.7% по изотопу U-235. Из многообразия рассмотренных конструкций ТВС разработана наиболее оптимальная для реактора ВВР-К восьмитрубная ТВС с тонкостенными (1,6 мм) твэлами с топливной композицией на основе UO₂, диспергированного в алюминиевой матрице с плотностью урана 2,8 г/см³ и обогащением по урану-235 19,7 %. Результаты расчетов нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора с топливом низкого обогащения показали, что с выбранной топливной композицией и конструкцией ТВС, характеристики реактора удастся не

только сохранить, но при использовании в качестве бокового отражателя бериллия, несколько их улучшить.

Планируемая новая активная зона реактора ВВР-К с низкообогащенным топливом будет компактной, а значит удельное энерговыделение в ТВС увеличиться. Результаты проведенных с помощью компьютерного кода MCU-REA нейтронно-физических расчетов показали, что мощность наиболее энергонапряженной ТВС составит ≈ 360 кВт, тогда как в активной зоне с высокообогащенным топливом мощность наиболее энергонапряженной ТВС составляла ~ 200 кВт. Для обеспечения при ресурсных испытаниях такого же уровня мощности в экспериментальных ТВС (ЭТВС), пришлось изменить конфигурацию активной зоны реактора. Для этого на периферии активной зоны ТВС были заменены на 28 бериллиевых блоков, которые образовали боковой отражатель. Кроме того, в центре активной зоны были извлечены шесть ТВС и центральный облучательный канал и на их место установлено облучательное устройство из бериллия. Устройство обеспечило размещение трех ЭТВС с шагом 68,3 мм и гарантированным зазором 2,0 мм между ЭТВС - для протока теплоносителя.

С марта 2011 года по июль 2013 года на исследовательском реакторе ВВР-К проведены ресурсные испытания трех ЭТВС типа ВВР-КН с низкообогащенным топливом. Испытания были проведены в три этапа: до достижения среднего выгорания в ЭТВС 20, 40 и 60%, с визуальным осмотром одной из ЭТВС по окончании каждого из этапов и анализом неразрушающими методами после третьего этапа.

В начале испытаний было достигнуто энерговыделение в ЭТВС на уровне ~ 360 кВт.

Таким образом изменение конфигурации активной зоны обеспечило параметры испытаний ЭТВС аналогичные к тем, в которых ТВС типа ВВР-КН будет работать в активной зоне с низкообогащенным топливом.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КАНАЛ ШАХТОХРАНИЛИЩА ОЯТ
ИРТ-Т ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ
РАДИАЦИОННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ.**

Кабанов Д.В., Стучебров С.Г., Семченко И.С.

Научный руководитель: Меркулов В.Г., с.н.с.

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

E-mail: merkvg@tpu.ru

Развитие атомной энергетики, исследование космического пространства, ракетостроение требует привлечения новых материалов с заданными свойствами. Поскольку в данных областях техники это связано с воздействием на изделия ионизирующих излучений, то необходимо знать, как изменяются физические и механические свойства материалов под их воздействием.

В качестве источников для при проведении радиационных испытаний наиболее часто используются ускорительные установки или изотопные источники высокой активности (^{137}Cs , ^{60}Co , и др.), а также петлевые генераторы активности некоторых исследовательских реакторов. Радиационный контур реактора ИРТ-Т (г. Томск) за долгие годы эксплуатации протекорродировал и был удален из активной зоны реактора.

В связи с возникновением необходимости проведения радиационных испытаний нами было обращено внимание на шахтохранилище отработанного ядерного топлива (ОЯТ ШХ), где размещены выведенные из эксплуатации «выгоревшие» ТВС после годового хранения в баке реактора. Данные ТВС создают мощное гамма-поле за счет долгоживущих гамма-активных изотопов, образующихся в процессе деления и ядерных превращений, а также тормозного излучения непрерывного энергетического спектра. Техническое решение по созданию экспериментального канала нами реализовано путем формирования из отработанных ТВС определенной геометрии облучения, обеспечивающей наиболее равномерное гамма-поле с максимально возможной интенсивностью, как по высоте, так и по диаметру канала.

Размещенный канал представляет собой, заглушенную с одной стороны, алюминиевую трубу с внутренним диаметром 70 мм и толщиной стенок 2 мм. В верхней части канал закреплен кронштейном к металлической балке и закрыт защитной пробкой с технологическими отверстиями.

Сформированная зона облучения представляет собой «ромашку» из шести относительно «свежих» (1,0-1,5 года после окончания компании) ТВС установленных в ячейках решетки ОЯТ ШХ. В центральную пустую ячейку уперто дно экспериментального канала.

Для измерения мощности поглощенной дозы в канале нами использован клинический радиометр-дозиметр «UNIDOS-E» (Германия) с камерой $0,6 \text{ см}^3$, который позволяет измерять мощность поглощенной дозы в воде в широком диапазоне значений (до 300 Гр/с). Измерительную камеру радиометра размещали с помощью фиксатора как в центре, так и на периферии дна канала. Во всех случаях полученные значения мощности поглощенной дозы составило величину $0,19 \pm 0,10 \text{ Гр/с}$.

Распределение мощности дозы по высоте измеряли с помощью дозиметров ДТЛ-02, соединенных между собой. Установлено, что поглощенная доза практически не изменяется на расстоянии до 20 см от дна канала.

Таким образом, изготовлен и смонтированный канал может быть с успехом использован для облучения различных материалов гамма-квантами непрерывного энергетического спектра (до 10 МэВ) дозами до 1 и более МГр и последующего исследования радиационных эффектов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ В ВИДЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ГОРЮЧИХ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ¹

Каренгин А.А.¹

Научный руководитель: Каренгин А.Г.², к.ф.-м.н., доцент

¹ОАО «Сибирский химический комбинат», 636039. Россия,

Томская обл.,

г. Северск, Курчатова ул., 1.

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

пр. Ленина, 30

E-mail: karenginaleksey@gmail.com

Переработка отработавшего ядерного топлива с целью извлечения из него урана и плутония с последующим превращением в МОКС-топливо для изготовления ТВЭЛов - важное звено создаваемого российского замкнутого ядерного топливного цикла [1].

В последние годы экстракцию плутония и урана из растворов ОЯТ осуществляют трибутилфосфатом с использованием различных

разбавителей, которые с течением времени теряют свою эффективность и превращаются в горючие отходы (ГОП ОЯТ) [1]. Оставшиеся после первого экстракционного цикла без урана и плутония отходы переработки ОЯТ (ОП ОЯТ) представляют собой слабоконцентрированные растворы металлов, имеющие следующий модельный состав [2]: HNO_3 – 18,0%, H_2O – 81,43%, Fe – 0,07%, Mo – 0,1%, Nd – 0,11%, Y – 0,06%, Zr – 0,058%, Na – 0,04%, Ce – 0,039%, Cs – 0,036%, Co – 0,031%, Sr – 0,026%.

По действующей технологии ОП ОЯТ выпариваются и после добавления химических реагентов (силикатов, фосфатов и др.) направляются на операцию остекловывания с последующим захоронением [3]. Эта технология многостадийна, требует значительных энерго- и трудозатрат, химических реагентов и времени. Существенное снижение энергозатрат на процесс утилизации ОП ОЯТ может быть достигнуто при их плазменной утилизации в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-органических композиций, имеющих адиабатическую температуру горения не менее $1200\text{ }^\circ\text{C}$ и обеспечивающих их энергоэффективную утилизацию [4].

На рисунке 1 представлена схема стадийности процесса утилизации диспергированных горючих водно-органических композиций в высокотемпературном плазменном потоке по длине реактора.

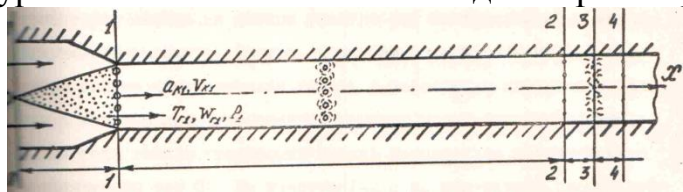


Рисунок 1 – Схема стадийности процесса утилизации диспергированных горючих водно-органических композиций в высокотемпературном плазменном потоке по длине реактора

Расчет кинетики процесса испарения капель воды в высокотемпературном воздушном плазменном потоке на предлагаемой математической модели позволяет существенно упростить расчеты и оценить реальное влияние различных начальных параметров воздушного плазменного потока и капель (температура потока, скорость потока и капель, размер капель, массовое отношение фаз и др.) на исследуемый процесс и определить оптимальные режимы его проведения.

В результате проведенных расчётов определены и рекомендованы для практической реализации оптимальные по составу водно-органические

композиции на основе ОП ОЯТ и ГОП ОЯТ, а также режимы их плазменной утилизации в воздушной плазме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.
2. Пантелеев Ю.А., Александрук А.М., Никитина С.А., Макарова Т.П., Петров Е.Р., Богородицкий А.Б., Григорьева М.Г. Аналитические методы определения компонентов жидких радиоактивных отходов. – Л.: Труды Радиевого института им. В. Г. Хлопина, 2007. – Т. XII. – С. 124-147.
3. Никифоров А.С., Кулиниченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
4. Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Ковалев А.В., Новоселов И.Ю. Расчет и оптимизация процесса плазменной утилизации горючих отходов переработки отработавшего ядерного топлива // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 2/2. - С. 31-34.

¹Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России на 2014-2016 годы по теме «Исследование и оптимизация процессов плазменной переработки отходов замкнутого ядерного топливного цикла» (Код темы № 2031)

ПЛАЗМЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ И ИММОБИЛИЗАЦИЯ ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАССЕЙНОВ-ХРАНИЛИЩ НИЗКОАКТИВНЫХ ЖРО¹

Орешкин Е.А.¹, Новоселов И.Ю.², Тундешев Н.В.²

Научный руководитель: Каренгин А.Г.², к.ф.-м.н., доцент
¹ФГУП «Горно-химический комбинат», г. Железногорск,
ул. Ленина, 53

²Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30

E-mail: egor_oresh@mail.ru

За время эксплуатации технологического оборудования на предприятиях ЯТЦ накоплено и размещено в бассейнах-хранилищах огромное количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО), на дне которых образовались иловые отложения (ИЛО), основными

компонентами в которых являются вода (60÷90%), железо (3÷17%), кремний (2,8÷8,5%), кальций (0,2÷3,2%), магний (1÷2,8%), натрий (0,7÷1,9%), фосфор (0,1÷0,9%) и др. [1]

Известны сорбционные, электрохимические, химические способы переработки и механическая классификация таких ИЛО [2]. Для стабилизации грунтов и илов и их перевода 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.

Как показано в работе [4], плазменная утилизация отходов в виде оптимальных по составу горючих водно-органических композиций (ВОК), имеющих адиабатическую температуру горения $T_{ад} \approx 1200$ °С, обеспечивает их энергоэффективную и экологически безопасную утилизацию.

В связи с этим представляет интерес использование низкотемпературной плазмы для прямой плазменной утилизации ИЛО в виде горючих ВОК с получением твердых продуктов в виде простых и сложных оксидов металлов, включающих магнитную окись железа. Это дает возможность после «мокрой» очистки отходящих газов использовать магнитную сепарацию для эффективного извлечения твердых продуктов и их последующей плазменной иммобилизации в расплавах хлоридов металлов, стойких к радиационному облучению.

По результатам проведенных расчетов рекомендованы для практической реализации процесса утилизации ИЛО в воздушной плазме следующие режимы, обеспечивающие получение в составе твердых продуктов магнитной окиси железа:

1. температура: 1200 ± 100 К;
2. состав ВОК: (15% Дизтопливо : 45% Вода : 40% ИЛО);
3. массовое отношение фаз: (45% Воздух : 55% ВОК).

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

На имеющемся лабораторном плазменном стенде «ВЧФ-плазмотрон на базе генератора ВЧГ8-60/13» ($f_{раб} = 13,56$ МГц, $P_{кол} = 60$ кВт) проведены исследования процесса плазменной иммобилизации

модельных ИЛО в расплавах хлоридов натрия (калия) в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании оборудования и технологии плазменной утилизации и иммобилизации различных по составу иловых отложений и других отходов замкнутого ЯТЦ.

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. Дмитриев С.А., Стефановский С.В. Обращение с радиоактивными отходами. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000, с.12-20.
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. 377-382.

¹Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России на 2014-2016 годы по теме «Исследование и оптимизация процессов плазменной переработки отходов замкнутого ядерного топливного цикла» (Код темы № 2031)

ЭЛЕКТРОДИАЛИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Перминов С.В.

Научный руководитель: Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30
E-mail: gos100@list.ru

Мембранные и электродиализные технологии широко используются как для очистки воды, так и для концентрирования растворов. Поэтому является актуальным поиск методов интенсификации процесса

электролиза. Возможность комплексного воздействия магнитным полем на структуру воды и гидратированных катионов открывает широкие перспективы для использования магнитной обработки в различных отраслях промышленности, при водоподготовке и водоочистке, очистке гальваносточков.

Цель работы - изучение влияния постоянного магнитного поля на процесс электролиза водных растворов солей, катионы которых имеют магнитные или немагнитные ядра.

Для изучения влияния внешнего постоянного магнитного поля на процесс электролиза была собрана экспериментальная установка, содержащая: трехкамерный электролизатор, схему усиления электрических сигналов, два лабораторных источника питания постоянного тока, измерительное сопротивление, постоянные магниты, миллиамперметр, осциллограф. Electrodes выполнены из нержавеющей стали. Постоянные магниты 1,2 Тл устанавливались с торцов камеры так, что направления линий магнитной индукции были сонаправлены с линиями электрического поля [1].

Регистрация величины тока в цепи через ячейку осуществлялась при помощи виртуального осциллографа АКТАКОМ АСК-3107 в режиме самописца (или LeCroy WaveSurfer 44XS), миллиамперметра М109, подключенного в цепь питания последовательно с ячейкой.

При запитывании электролизной ячейки постоянным напряжением 10 В видно влияние магнитного поля на процесс электролиза. Действие магнитного поля вызывает одновременное сжатие графика по оси времени и увеличение максимального значения тока. При расположении магнита северным полюсом в области катода эффект оказывается сильнее. Количество перенесенного заряда, выражающееся через площадь под кривыми, также, зависит от наличия и полярности магнитного поля. Электролизный ток регистрировали с помощью осциллографа LeCroy WaveSurfer 44XS.

При напряжении питания 10 В электроды подвергаются сильной коррозии. При напряжении ~1,5 В коррозия проявляется очень слабо. Уменьшение напряжения, прикладываемого к ячейке, привело к увеличению времени протекания процесса электролиза с 2,2 часа до более двух суток (при напряжении питания 1,5 В). Поэтому для регистрации электролизного тока использовали «виртуальный» осциллограф АКТАКОМ работающий в режиме самописца.

При малом напряжении питания ячейки 1,5 В форма осциллограмм подвержена случайным деформациям. Это обусловлено, по всей видимости, более медленным образованием газовых пузырьков на

катоде и соответственно более случайной вероятности отрыва пузырьков.

Из сравнения осциллограмм с магнитным полем и без поля видно, что при малой разности потенциалов между электродами, магнитное поле вызывает уменьшение максимального тока и увеличение длительности протекания процесса.

Из сравнения электролиза водных растворов солей с магнитными и немагнитными ядрами видно следующее. Время достижения максимального значения электролизного тока в магнитном поле для поваренной соли (полностью парамагнитные ядра) зависит от наличия магнитного поля. Для соли, имеющей значительно меньше парамагнитных ядер (NiCl), время достижения максимального значения электролизного тока практически не зависит от наличия магнитного поля. Таким образом, можно ожидать значительно малое влияние внешнего постоянного магнитного поля на электролиз неорганических солей, содержащих элементы с немагнитными ядрами. Также следует ожидать более значительного эффекта от влияния магнитного поля на электролиз неорганических солей, содержащих элементы с парамагнитными ядрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан В.А., Мышкин В.Ф., Цхе А.А., Симоненко В.Ю. Электролиз водных растворов в магнитном поле // Известия вузов. Физика. - 2013 - Т. 56 - №. 4/2. - С. 321-325.

ПЛАЗМЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ В ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЕ ВЧФ-РАЗРЯДА*

Подгорная О.Д.¹, Каренгин А.А.², Новоселов И.Ю.¹

Научный руководитель: Каренгин А.Г.¹, к.ф.-м.н., доцент

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

²ОАО «Сибирский химический комбинат», 636039. Россия,
Томская обл.,

г. Северск, Курчатова ул., 1.

E-mail: shahmatovaol@tpu.ru

Около 97% облученного на АЭС ядерного топлива составляют уран U-238 и синтезированный в ядерном реакторе плутоний Pu-239, а доля продуктов деления урана U-235 и изотопов плутония не превышает 3%. Основой технологии переработки полученного отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) на радиохимических заводах является ПУРЕКС-процесс,

обеспечивающий высокую степень извлечения урана и плутония с высокой степенью очистки от продуктов деления [1,2]. После первого экстракционного цикла оставшиеся без урана и плутония отходы переработки отработавшего ядерного топлива (ОП ОЯТ) в виде слабоконцентрированных водносолевых растворов имеют следующий элементный состав [3]: HNO_3 – 18,0%, H_2O – 81,43%, Fe – 0,07%, Mo – 0,1%, Nd – 0,11%, Y – 0,06%, Zr – 0,058%, Na – 0,04%, Ce – 0,039%, Cs – 0,036%, Co – 0,031%, Sr – 0,026%.

По действующей технологии ОП ОЯТ после выпаривания и добавления химических реагентов (силикаты, фосфаты, бораты и др.) остекловываются или цементируются с последующим захоронением. Эта технология многостадийна, экологически небезопасна, требует значительных энергозатрат и химических реагентов.

Существенное снижение энергозатрат на процесс утилизации ОП ОЯТ может быть достигнуто при их прямой плазменной переработке в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-органических композиций, имеющих адиабатическую температуру горения не менее 1200 °C [4].

В данной работе проведено моделирование процессов плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ. В результате расчётов определены и рекомендованы для практической реализации оптимальные составы горючих водно-органических композиций на основе ОП ОЯТ и режимы их плазменной утилизации. На основании результатов, полученных при моделировании, проведены экспериментальные исследования процесса плазменной утилизации водно-органических композиций на основе модельных ОП ОЯТ. Получены водные суспензии порошков простых и сложных оксидов металлов, включающих магнитную окись железа. Показана возможность применения магнитных сепараторов для эффективного извлечения и концентрирования твердых продуктов плазменной утилизации ОП ОЯТ после «мокрой» очистки отходящих из плазменного реактора газов.

Впервые показано, что применение прямой плазменной утилизации слабоконцентрированных ОП ОЯТ в воздушной неравновесной плазме высокочастотного факельного разряда в виде оптимальных по составу диспергированных водно-органических композиций позволяет исключить стадию выпаривания, существенно снизить удельные энергозатраты на процесс, а также применить магнитную сепарацию для эффективного извлечения твёрдых дисперсных продуктов плазменной утилизации ОП ОЯТ в виде порошков простых и сложных оксидов металлов, включающих магнитную окись железа. Данная

технология позволит обеспечить их безопасное хранение и последующее использование образующихся со временем ценных и благородных металлов. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания оборудования и технологии плазменной утилизации ОП ОЯТ и других ЖРО.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии плазменной утилизации отходов переработки ОЯТ и других жидких радиоактивных отходов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России на 2014-2016 годы (код темы № 2031).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. М.: Изд. дом МЭИ, 2007.- 448 с.
2. Никифоров А.С., Кулиниченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
3. Пантелеев Ю.А., Александрук А.М., Никитина С.А., Макарова Т.П., Петров Е.Р., Богородицкий А.Б., Григорьева М.Г. Аналитические методы определения компонентов жидких радиоактивных отходов. – Л.: Труды Радиевого института им. В. Г. Хлопина, 2007. – Т. XII. – С. 124-147.
4. Власов В.А., Каренгин А.Г., Шахматова О.Д. Оценка эффективности процессов плазменной утилизации и иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива // Известия вузов. Физика. – 2013. - Т. 56. - № 4/2. - С. 91-96.

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНОЙ ЯЧЕЙКЕ

Перминов С.В.

Научный руководитель: Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.
Ленина, 30

E-mail: gos100@list.ru

Электродиализ широко применяется при очистке воды, концентрировании растворов, извлечении ионов из водных растворов. Поэтому актуально разработка инновационных электродиализных

технологий очистки воды и селективного извлечения ионов из растворов для создания безотходных технологий.

Показано, что действие магнитного поля увеличивает эффективность электродиализа [1]. Электродиализ представляет собой комбинированный метод, в котором сочетаются электролиз и диализ. Действие магнитного поля может быть связано с поляризацией диполей воды. Магнитное поле действует на ионы, совершающие тепловое движение. За счет силы Лоренца атомы водорода части молекул воды ориентируются вдоль магнитного поля. При этом сечение молекулы воды в направлении электрического поля уменьшается.

Можно также выделить следующие процессы, на которые воздействует магнитное поле при электродиализе: электромиграция ионов в растворе и через ионообменную мембрану, электролиз (электродные процессы), слои объемного заряда возле мембран и электродов. Априори неизвестно, какие процессы значимы, влиянием каких процессов можно пренебречь. Поэтому проводились ряд дополнительных измерений. При этом необходимо, чтобы магнитное поле влияло, в основном, лишь на одно из протекающих явлений.

Регистрировали влияние магнитного поля на электролизный ток через 0,1 Н раствор NaCl, при воздействии магнитным полем разной полярности на один из электродов или на оба электрода одновременно.

Установка состояла из двух одинаковых прямоугольных кювет, подключенных параллельно в цепь питания. Кюветы располагали таким образом, что катод первой ячейки располагался рядом с анодом второй ячейки. Последовательно с кюветами были включены резисторы, с которых регистрировали сигнал. Это позволяло одновременно действовать магнитом одной полярности как на катод первой ячейки, так и на анод второй. На рисунке приведены регистрируемые при этом осциллограммы.

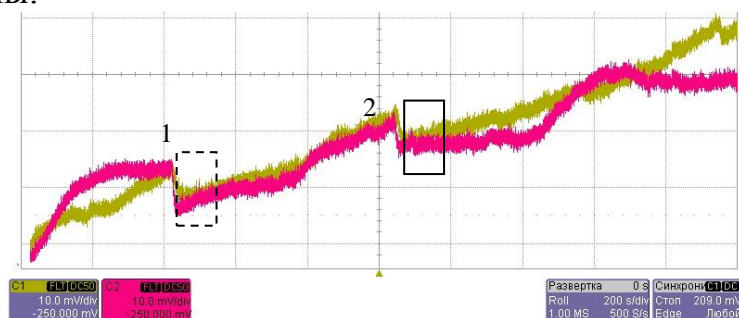


Рисунок – Осциллограмма электролиза. 1 – северный полюс у электродов, 2 – южный полюс у электродов. Красная линия – первая кювета, желтая линия – вторая кювета.

Из графиков видно, что магнитное поле любой полярности подавляет процесс электролиза водного раствора соли, содержащей элементы с парамагнитными ядрами. Видно резкое уменьшение электролизного тока на некоторое значение и продолжение изменения тока с закономерностью, повторяющей график до введения магнитного поля. При удалении постоянного магнита от электродов электролизный ток восстанавливается. Такие графики ранее также были получены на электролизной ячейке при кратковременном воздействии. По всей видимости, основным вкладом действия магнитного поля на электролизную ячейку является влияние на приэлектродные процессы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан В.А., Мышкин В.Ф., Цхе А.А., Симоненко В.Ю. Электролиз водных растворов в магнитном поле // Известия вузов. Физика. - 2013 - Т. 56 - №. 4/2. - С. 321-325.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПОСЛЕ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Шеховцова А.П., Лютц А.А.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30
E-mail: nessheh@gmail.com

На Томском подземном водозаборе ежегодно образуются около 600 т железосодержащих осадков после очистки воды, которые сбрасываются в реку Кисловка, протекающую по особо охраняемой пригородной зоне междуречья Томи и Оби [1].

Аналогичная проблема стоит на станциях водоочистки таких городов, как Стрежевой, Кедровый, и других населенных пунктов Томской и Тюменской областей, потребляющих воду из подземных источников с большим содержанием железа и марганца. Это приводит к существенному ухудшению экологической обстановки в регионе.

Традиционно используемые осадительный и термический способы для промышленного производства красящих пигментов многостадийны, энергоёмки и экологически небезопасны [2,3].

В связи с этим представляет интерес процесс плазменной утилизации отходов после очистки пресной воды с получением нанодисперсных

пигментов, включающих оксиды железа, для последующего применения при производстве лакокрасочной и иной продукции.

Плазменный термолиз водных растворов солей или суспензий гидроксидов металлов в плазме является гибким и перспективным плазмохимическим способом получения порошкообразных оксидов металлов [3]. Данный способ является наиболее универсальным методом получения как простых, так и сложных оксидов металлов многоцелевого назначения. Основными достоинствами способа является: большое число каналов воздействия на физико-химические свойства целевых продуктов, возможность синтеза сложных оксидных соединений, а также их легирование на молекулярном уровне, высокая химическая активность получаемых веществ. К тому же процесс является одностадийным и, как следствие, экономным по времени при производстве пигментов, что в современных условиях является неоспоримым достоинством данного способа.

Как показано в работе [4], значительное снижение удельных энергозатрат на процесс получения пигментов может быть достигнуто при плазменной переработке исходного сырья в виде оптимальных по составу горючих водно-органических композиций (ВОК), имеющих адиабатическую температуру горения $T_{ад} \approx 1200$ 0С.

В работе [5] подтверждена эффективность процесса плазменной утилизации железосодержащих отходов после очистки пресной воды в виде модельных горючих ВОК на основе этилового спирта и ацетона, а также показана возможность применения магнитной сепарации для эффективного извлечения полученных железосодержащих пигментов из водных суспензий.

В работе [4] также подтверждена эффективность процесса плазменной утилизации железосодержащих отходов после очистки пресной воды на модельных горючих ВОК на основе этилового спирта и ацетона и показана возможность применения магнитной сепарации для эффективного извлечения полученных пигментов из водных суспензий.

В данной работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса плазменного получения нанодисперсных пигментов из отходов после очистки воды в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда в виде горючих ВОК с использованием различных горючих отходов .

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании передвижных и стационарных промышленных установок для плазменной утилизации различных железосодержащих отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисецкий В.Н., Брюханцев В.Н., Андрейченко А.А. Улавливание и утилизация осадков водоподготовки на водозаборах г. Томска. - Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 164с.
2. Беленький Е.Ф., Рискин И.В. Химия и технология пигментов.–Л.: Ленгосхимиздат, 1949. – 624с.
3. Пархоменко В.Д., Сорока П.И., Краснокутский Ю.И. и др. Плазмохимическая технология. - Новосибирск: Наука. Сиб отд-ние, 1991.-196 с.
4. Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Побережников А.Д. Плазменное получение жаростойких пигментов двуокиси циркония // Известия вузов. Физика - 2011, т. 54, - №11/2. - с. 369-372.
5. Власов В.А. , Каренгин А.Г. , Каренгин А.А. , Шеховцова А.П. Плазменное получение нанодисперсных пигментов из отходов после очистки воды // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 3/3. - С. 87-90.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ УТИЛИЗАЦИИ ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАССЕЙНОВ-ХРАНИЛИЩ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ*

Тундешев Н.В., Пиунова К.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

За время эксплуатации технологического оборудования на предприятиях ЯТЦ накоплено и размещено в бассейнах-хранилищах большое количество ЖРО, на дне которых образовались иловые отложения (ИЛО), основными компонентами в которых являются железо (3÷17%), кремний (2,8÷8,5%), кальций (0,2÷3,2%), магний (1÷2,8%), натрий (0,7÷1,9%), фосфор (0,1÷0,9%), а содержание урана и плутония не превышает соответственно $10^{-3}\%$ и $10^{-4}\%$ [1].

Известны сорбционные, электрохимические, химические способы переработки ИЛО и их механическая классификация [2]. Для стабилизации ИЛО и их перевода в устойчивые формы, препятствующие миграции радионуклидов из радиоактивных отходов, используются различные способы высокотемпературной переработки с получением керамических и стеклоподобных матриц [3,4]. Их общим

недостатком является многостадийность и высокая стоимость переработки ИЛО.

Существенное снижение удельных энергозатрат на процесс переработки таких отходов может быть достигнуто при их плазменной утилизации в виде оптимальных по составу горючих водно-органических композиций, имеющих адиабатическую температуру горения $T_{ад} \approx 1200$ °С [5].

Так, для экстракции плутония (IV) и урана (VI) из азотнокислых растворов отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) используются трибутилфосфат (ТБФ) и гексахлорбутадиен (ГХБД), которые со временем теряют свою эффективность и превращаются в горючие отходы переработки ОЯТ (ГОП ОЯТ).

В связи с этим представляет интерес процесс комплексной плазменной переработки ИЛО в виде горючих ило-органических композиций «ИЛО - ГОП ОЯТ» с получением твердых продуктов в виде простых и сложных оксидов металлов, включающих магнитную окись железа.

Это дает возможность применить магнитную сепарацию для их эффективного извлечения и последующей плазменной иммобилизации в расплавах хлоридов металлов, стойких к радиационному облучению.

В данной работе представлены результаты моделирования процесса совместной плазменной переработки ИЛО и ГОП ОЯТ. Определены и рекомендованы для практической реализации оптимальные составы ило-органических композиций и режимы их плазменной утилизации и иммобилизации.

На имеющемся лабораторном плазменном стенде «Плазменный модуль на базе высокочастотного факельного плазмотрона» проведены экспериментальные исследования процессов плазменной утилизации ИЛО в воздушной плазме ВЧФ-разряда в виде модельных горючих ило-органических композиций, а также плазменной иммобилизации полученных твердых дисперсных продуктов в расплавах KCl и NaCl в воздушной плазме ВЧФ-разряда.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании ресурсоэффективной технологии плазменной переработки иловых отложений бассейнов-хранилищ ЖРО, а также других отходов создаваемого российского замкнутого ядерного топливного цикла.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России на 2014-2016 годы (код темы № 2031)

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. Дмитриев С.А., Стефановский С.В. Обращение с радиоактивными отходами. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000, с.12-20.
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. Соболев И.А., Хомчик Л.М. Обезвреживание радиоактивных отходов на централизованных пунктах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - С. 75-78.
5. Новоселов И.Ю., Каренгин А.Г., Кокарев Г.Г. Плазменная утилизация и магнитная сепарация иловых отложений бассейнов выдержки ТВЭЛОВ// Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57. - №. 2/2. - С. 17-22.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЧФ-ПЛАЗМАТРОНОВ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ УТИЛИЗАЦИИ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ ЗАМКНУТОГО ЯТЦ

Зубов В.В.¹, Каренгин А.А.², Тундешев Н.В.¹

Научный руководитель: Каренгин А.Г.¹, к.ф.-м.н., доцент

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

²ОАО «Сибирский химический комбинат», 636039. Россия,
Томская обл.,

г. Северск, Курчатова ул., 1.

E-mail: nessheh@gmail.com

Переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) с целью извлечения из него урана и плутония с последующим их превращением в готовый продукт (МОХС-топливо) для изготовления ТВЭЛов - важное звено создаваемого российского замкнутого ядерного топливного цикла.

Основой технологии переработки ОЯТ радиохимических заводов мира является ПУРЕКС-процесс, обеспечивающий высокую степень извлечения урана и плутония и очистку от продуктов деления [1]. Для экстракции плутония и урана из азотнокислых растворов ОЯТ применяют композиции трибутилфосфата (ТБФ) с различными

разбавителями (синтин, керосин, гексахлорбутадиен и др.), которые с течением времени теряют свою эффективность под действием облучения и превращаются в горючие отходы (ГОП ОЯТ) [2].

По действующей технологии эти отходы подлежат подземному захоронению [2], что может привести к существенному ухудшению экологической обстановки в регионе.

В связи с этим представляет интерес утилизация таких отходов в низкотемпературной плазме, для получения которой применяют различные генераторы плазмы – плазмотроны [3,4].

Как показано в работах [5-7], существенное снижение энергозатрат на процесс утилизации таких отходов может быть достигнуто при их плазменной переработке в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-органических композиций.

В работе представлены результаты исследований электрофизических, газодинамических и других режимов работы плазменного модуля на базе высокочастотного факельного плазмотрона, который включает следующие основные узлы: ВЧ генератор ВЧГ8-60/13-01 (рабочая частота 13,56 МГц, колебательная мощность до 60 кВт), ВЧФ-плазмотрон, реактор, узел диспергирования горючих жидких отходов, узел «мокрой» очистки отходящих газов, газоанализатор «Quintox» КМ 9106, высокоточный цифровой пирометр IPE 140/45, трубка Пито, высоконапорный вытяжной вентилятор ВР 12-26 (№4).

В результате проведенных исследований на модельных отходах определены режимы работы ВЧФ-плазмотрона, необходимые для «розжига» в реакторе горючей водно-органической композиции и вывода на оптимальный режим плазменного горения горючих отходов.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии и промышленных установок на базе ВЧФ-плазмотронов, предназначенных для эффективной плазменной утилизации горючих отходов переработки ОЯТ замкнутого ядерного топливного цикла, а также других жидких радиоактивных отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОЯТ <http://nauka.relis.ru/06/0111/06111040.PDF>
2. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.
3. Крапивина С.А. Плазмохимические технологические процессы. – Л.: «Химия» Ленинградское отделение, 1981. – 104 с.

4. Тихомиров И.А., Власов В.А., Луценко Ю.Ю. Физика и электрофизика высокочастотного факельного разряда и плазмотроны на его основе. – М.: Энергоиздат, 2002. – 195 с.
5. Новоселов И.Ю., Подгорная О.Д., Шлотгауэр Е.Э., Каренгин А.Г., Кокарев Г.Г. Исследование процесса иммобилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива в расплавах хлоридов металлов в воздушной плазме ВЧФ-разряда // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 2/2. - С. 22-25.
6. Власов В.А., Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Подгорная О.Д. Плазменная утилизация отходов переработки отработавшего ядерного топлива в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 3/3. - С. 103-106.
7. Власов В.А., Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Подгорная О.Д., Шлотгауэр Е. Э. Исследование и оптимизация режимов работы ВЧФ-плазмотрона // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 3/3. - С. 107-110.

РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ ПХБ

Теменков В.С.¹, Касейнова А.С.², Тургали Б.К.²

Научный руководитель: Каренгин А.Г.¹, к.ф.-м.н., доцент

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

²Государственный университет им. Шакарима, Республика
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А

E-mail: Shadows93@mail.ru

В последние 30 лет уделяется повышенное внимание к группе стойких органических загрязнителей (СОЗ), которые воздействуют на среду обитания на чрезвычайно низком уровне. Среди СОЗ следует выделить полихлорированные бифенилы (ПХБ), входящие в состав различных трансформаторных масел на основе соволов, которые являются одними из самых распространенных [1].

Опасность ПХБ долгое время недооценивалась. По своему острому токсикологическому воздействию, ПХБ идентичны другим веществам, относимым к четвертому классу опасности. О том, насколько опасны эти вещества, стало понятно после того, как их производство было запрещено во многих странах.

Синтез ПХБ, как и других ароматических полихлорированных соединений, приводит к образованию самых опасных из известных человечеству химических веществ. Но и на этом не ограничивается

опасность ПХБ, среди них имеются 12 конгенов, воздействие которых на организм человека было признано в 1997 году Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) аналогичным воздействию диоксинов [2].

Традиционные методы утилизации и обезвреживания таких отходов (в основном, термические) энергозатратны и приводят к образованию различных токсичных органических соединений (диоксины, бенз(о)пирены и др.) [3].

Существенное снижение энергозатрат на процесс утилизации таких отходов может быть достигнуто при их плазменной переработке в виде оптимальных по составу горючих водно-органических композиций (ВОК, имеющих адиабатическую температуру горения не менее 1200⁰С [4-7] .

В работе представлены результаты моделирования и оптимизация процесса плазменной утилизации отработанных трансформаторных масел на основе ПХБ в воздушной плазме в виде горючих водно-органических композиций.

По результатам проведенных исследований рекомендованы для практической реализации процесса плазменной утилизации в воздушной плазме отработанных трансформаторных масел на основе ПХБ в виде оптимальных по составу горючих водно-органических композиций следующие условия:

- состав ВОК: (50% Вода: 50% ПХБ);
- массовое отношение фаз: (50% Воздух: 50% ВОК);
- интервал рабочих температур 1500 ±100 К.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии и промышленных установок на базе ВЧФ-плазмотронов, предназначенных для эффективной плазменной утилизации отработанных трансформаторных масел, а также бывших в употреблении масел производства разделения изотопов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юфит С.С. Яды вокруг нас. Цикл лекций. Москва: Джеймс, 2001.- 245 с.
2. Polychlorinated biphenyls. Mammalian and Environmental Toxicology. (Ed. S.Safe). Springer-Verlag, Berlin, 2008.
3. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. – М.: Химия, 1990. – 304 с.
4. Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Ковалев А.В., Новоселов И.Ю. Расчет и оптимизация процесса плазменной утилизации горючих отходов

переработки отработавшего ядерного топлива // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 2/2. - С. 31-34.

5. Власов В.А., Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Шахматова О.Д. Моделирование процесса плазменной утилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива // Известия вузов. Физика. 2012. - Т. 55. - № 11/2. - С. 377-382.

6. Власов В.А., Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Шахматова О.Д. Исследование и оптимизация процесса плазменной утилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива в воздушной плазме ВЧФ-разряда // Известия вузов. Физика. - 2013. - Т. 56. - № 11/3. - С. 201-205.

7. Власов В.А., Каренгин А. Г., Каренгин А.А., Побережников А.Д. Математическая модель реактора для плазменной утилизации жидких промышленных отходов // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - № 3/3. - С. 95-98.

ПЛАЗМЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ЗАМКНУТОГО ЯТЦ*

Новоселов И.Ю.¹, Каренгин А.А.²

Научный руководитель: Каренгин А.Г.¹, к.ф.-м.н., доцент

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

²ОАО «Сибирский химический комбинат», 636039. Россия,
Томская обл.,

г. Северск, Курчатова ул., 1.

E-mail: zgr_best@mail.ru

Госкорпорация «Росатом» первой в мире приступила к созданию российского замкнутого ЯТЦ, который предусматривает поставку с АЭС отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), его выдержку и переработку, извлечение Pu-239 и U-238, производство на их основе МОКС-топлива и его поставку на АЭС.

Основой технологии переработки ОЯТ радиохимических заводов является ПУРЕКС-процесс, обеспечивающий высокую степень извлечения урана и плутония с высокой степенью их очистки от продуктов деления [1-3]. При этом в качестве экстрагентов для извлечения урана и плутония применяют трибутилфосфат (ТБФ) с различными разбавителями (керосин, очищенные углеводороды, четыреххлористый углерод, гексахлорбутадиен и др.).

Под действием радиоактивного облучения, обусловленного высоким содержанием в растворе продуктов деления, плутония и трансплутониевых элементов, экстрагенты с течением времени теряют свою эффективность и превращаются в горючие отходы переработки ОЯТ (ГОП ОЯТ), эффективных технологий утилизации которых в настоящее время нет.

В связи с этим представляют научный и практический интерес возможность использования низкотемпературной плазмы для эффективной утилизации таких отходов.

Как показано в работах [4-6], плазменная утилизация отходов в виде оптимальных по составу горючих водно-органических композиций, имеющих адиабатическую температуру горения $T_{ад} \approx 1200$ °С, обеспечивает их энергоэффективную и экологически безопасную утилизацию.

В работе представлены результаты исследований процесса плазменной утилизации ГОП ОЯТ в виде диспергированных горючих водно-органических композиций на основе ТБФ и ГХБД.

В результате проведенных расчетов определены и рекомендованы для практической реализации оптимальные составы горючих водно-органических композиций на основе ГОП ОЯТ и режимы их плазменной утилизации.

С учетом полученных результатов проведены экспериментальные исследования процесса плазменной утилизации диспергированных горючих водно-органических композиций на основе модельных ГОП ОЯТ в воздушной плазме ВЧФ-разряда.

Показано, что применение плазменной утилизации ГОП ОЯТ в воздушной неравновесной плазме высокочастотного факельного разряда в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-органических композиций позволяет обеспечить их энергоэффективную и экологически безопасную утилизацию.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии плазменной утилизации горючих отходов переработки ОЯТ и других жидких радиоактивных отходов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России на 2014-2016 годы (год темы № 2031)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОЯТ <http://nauka.relis.ru/06/0111/06111040.PDF>.
2. Никифоров А.С., Кулиниченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.

3. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 448 с.
4. Karengin A.G, Shakhmatova O.D., Karengin A.A., Novikova N.V. Plasma Utilization of Liquid Radioactive Waste. Proceedings of IFOST-2012. – Vol.2. - P.440-443.
5. Каренгин А.Г., Шахматова О.Д. Моделирование процесса плазменной утилизации жидких радиоактивных отходов // Вестник науки Сибири. 2012, – № 2 (3). - С. 22-26
6. Власов В.А. Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Шахматова О.Д. Моделирование процесса плазменной утилизации отходов переработки отработавшего ядерного топлива// Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11/2. - С. 377-382.

**АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В
ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ (НА
ПРИМЕРЕ УГОЛЬНЫХ ТЭЦ И АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА)**

Бабичева В.О., Рогова Н.С., Кабанов Д.В.,

Научный руководитель: Рыжакова Н.К., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 30

E-mail: valentina_babich@mail.ru

На основании нейтронно-активационного анализа и атомно-эмиссионной спектрометрии мхов-биомониторов [1, 2] определено пространственное распределение тяжелых металлов (ТМ) в приземном слое атмосферы в зоне влияния промышленных предприятий – угольных ТЭЦ и алюминиевого завода. Образцы эпифитных мхов отобраны на расстояниях от 1 до 7 км в выбранных направлениях от источников загрязнения: ТЭЦ-5 г.Новосибирска, ТЭЦ-3 г.Барнаула и Кандалакшского алюминиевого завода. Для угольных ТЭЦ уровень загрязнения ТМ превышает фоновые значения в несколько раз и выше для всех, определенных в исследовании тяжелых металлов: Mo, Cr, Co, Sc, Lu, Zn, Fe, Rb, Sb, Ce, Hf, Eu, Sr, As, Nd, Sm, Tb, Cs, Br, Yb, Ba, Ca; максимальные концентрации Mo, Eu, Ca, Sc, Hf, Nd, Tb, Cs превышают фоновые в десятки раз. Установлено, что содержание накопленных во мхах-биомониторах ТМ зависит от марки каменных углей, на которых работают ТЭЦ. В зоне влияния алюминиевого завода обнаружен высокий уровень загрязнения Al, Fe, Cd, Ti, V, Sm, As, Sc и Eu, максимальные концентрации которых превышают фоновые значения в

десятки раз. Показано, что пространственное распределение тяжелых металлов в приземном слое атмосферы зависит не только от высоты трубы, но и от скорости ветра и рельефа местности в выбранном направлении. Апробированный в работе метод может быть использован в экологических исследованиях, в том числе при разработке технологий утилизации и хранения отходов изотопных производств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжакова Н. К., Борисенко А. Л., Меркулов В. Г., Рогова Н. С. Контроль состояния атмосферы с помощью мхов-биоиндикаторов // Оптика атмосферы и океана, 2009 – т. 22, – №1. с. 101 – 104.
2. Рыжакова Н.К., Рогова Н. С., Борисенко А.Л., Меркулов В. Г. «Способ оценки загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами и другими химическими элементами с помощью эпифитных мхов». Пат. №2463584 от 10 октября 2012 г.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

- А -

Акимов Д.В. 53; 55; 57; 79; 81
Александров О.Е. 17
Аримкин Ф.М. 109
Аусенов К.Ж. 108

- Б -

Бабичева В.О. 132
Балашков В.С. 60; 62
Басков В.Г. 39; 40
Беспала Е.В. 43
Боговалов С.В. 16
Боева О.А. 93
Борецкий Е.А. 47
Борисевич Д.В. 15
Бутов В.Г. 100; 102
Буцько Я.А. 99

- В -

Варламова Н.В. 83; 86
Варлачев В.А. 97; 99
Вергун А.П. 60; 62
Видяев Д.Г. 45; 47; 70; 72

- Г -

Гадельшин В.М. 17
Гизатулин Ш.Х. 109
Годисов О.Н. 15
Годовых А.В. 95
Головацкий А.В. 97; 99
Губа Л.В. 50
Губанов С.М. 20; 59

- Д -

Давыдов Е.Ю. 68
Довгий И.И. 50; 52
Дрогалев А.С. 60; 62
Дурновцев М.И. 20; 93

- Е -

Егоров Н.Б. 53; 55; 57; 79; 81
Емец Е.Г. 97; 99

- Ж -

Журавлёв Н.А. 79

- З -

Зубов В.В. 126
Зукау В.В. 76; 84

- И -

Иванов М.И. 105
Ижойкин Д.А. 33; 35; 37
Ильина Е.А. 83; 86; 89
Индык Д.В. 81

- К -

Кабанов Д.В. 76; 111; 132
Камытбаева А.У. 64
Каренгин А.Г. 103; 112; 114; 118;
122; 124; 126; 128; 130
Каренгин А.А. 112; 118; 130
Картавых А.А. 59
Касейнова А.С. 128
Кидямкин А.В. 39; 40
Кислов В.А. 16
Ключникова Ю.О. 105
Коваленко Д.С. 22
Костылев А.И. 91
Кравченко А.В. 29
Крайнов А.Ю. 20
Кузнецов П.Г. 27

- Л -

Ларионова Л.А. 83
Лебедев А.Я. 27; 29
Левчук Р.В. 22
Лемякин А.Э. 70; 72
Лобановская О.С. 91
Лютц А.А. 122
Ляпунов А.Ю. 50; 70; 72

- М -

Малюгтн Р.В. 24; 26
Маник В.С. 52
Марочкина У.М. 39; 40
Матюшкина Ю.А. 105
Меркулов В.Г. 77; 111
Мирзоев С.Р. 70

Мышкин В.Ф. 37; 41; 64; 66; 68; 95;
116; 120

- Н -

Нейман В.А. 66
Неклюдов А.А. 77
Нестеров Е.А. 83; 87; 89
Новоселов И.Ю. 114; 118; 130
Новоселов А.Б. 57

- О -

Одинцов А.А. 93
Орехов Д.В. 27
Орешкин Е.А. 114
Орлов А.А. 18; 22; 24; 26; 27; 29

- П -

Палкин В.А. 17
Перекрыстов Р.В. 43
Перминов С.В. 68; 116; 120
Пиунова К.Г. 124
Подгорная О.Д. 118
Поповцев Е.Е. 39; 40

- Р -

Рамазанова К.М. 41
Рогов А.С. 83; 84; 86; 87; 89
Рогова Н.С. 132
Родионов А.В. 77
Рыжакова Н.К. 105; 132

- С -

Савостиков Д.В. 45; 47
Садкин В.Л. 83; 86; 89
Селезнёв В.Д. 17
Семченко И.С. 66; 111
Сидоренко В.С. 18
Сидоркин А.С. 47
Скориков А.И. 39; 40
Скуридин В.С. 83; 84; 86; 87; 89
Солдатов Ю.И. 84
Солоненко В.А. 101; 102
Стасюк Е.С. 83; 86; 87; 89
Стучебров С.Г. 111

- Т -

Теменков В.С. 128
Тесленок А.В. 72
Тимченко С.Н. 18
Титов Е.С. 29
Тлеукенов Е.О. 103
Тронин И.В. 16
Тундешев Н.В. 103; 114; 124; 126
Тургали Б.К. 103; 128
Тюделеков Е.А. 45

- У -

Ушаков И.А. 33; 35; 37; 95

- Ц -

Цимбалюк А.Ф. 24; 26

- Ч -

Чекушина Л.В. 107
Чернозем Р.В. 95
Чибисов Е.В. 77
Чуканов М.В. 20; 59

- Ш -

Шаманин И.В. 76; 108
Шаймерденов А.А. 109
Шеховцова А.П. 122
Шилова К.О. 105
Штефан А.В. 52

- Я -

Яценко Д.В. 15
Ящук А.А. 101; 102