

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



ТВЭЛ
РОСАТОМ

**ИЗОТОПЫ: ТЕХНОЛОГИИ,
МАТЕРИАЛЫ И ПРИМЕНЕНИЕ**

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

25–28 октября 2021 г.

**Мероприятие проводится при финансовой и информационной
поддержке АО «ТВЭЛ»**



**Инженерная школа
ядерных технологий**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Томск 2021

Инженерная школа ядерных технологий Томского политехнического университета, является одной из ведущих центров подготовки выпускников для атомной промышленности, проводит VII Международную конференцию молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы: технологии, материалы и применение». Конференция посвящена проблемам получения различными методами изотопной продукции, методов анализа веществ и примесей, создания моноизотопных и изотопно-модифицированных материалов, расширения областей использования изотопов, методов сепарации трудноразделяемых веществ, хранения и утилизации отходов изотопных производств.

В настоящее время разработаны методы разделения веществ по изотопному составу с высокой разделительной способностью и производительностью. Показана принципиальная возможность лазерного разделения изотопов почти всех химических элементов. Однако путь практической реализации различных технологий разделения изотопов оказался непростым. Главной преградой на пути широкомасштабной практической реализации лазерных методов по-прежнему остается низкая эффективность возбуждения рабочего газа. 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. Важным аспектом является повышение энерго- и ресурсоэффективности технологий получения соединений с заданным изотопным составом.

Новым направлением является получение моноизотопных, изотопно-модифицированных 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. Это обеспечивает более высокую эффективность и безопасность работы реактора.

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

Основной задачей проводимой конференции является обобщение опыта исследований и разработок в области технологий получения изотопов и использования соединений заданного изотопного состава в различных отраслях. Конференция призвана активизировать научные исследования молодых ученых, обеспечить интеграцию усилий работников вузов, НИИ и промышленных предприятий в решении актуальных проблем ядерной энергетике. Конференция направлена на обсуждение новых технологий и научных направлений для повышения качества подготовки выпускников ВУЗов.

С уважением, оргкомитет конференции.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: Сухих Леонид Григорьевич – д.ф.-м.н., проректор по науке и трансферу технологий, ТПУ, Россия;

Заместитель председателя: Вергун А.П. – д.ф.-м.н., профессор ОЯТЦ ТПУ, Томск, Россия

Члены программного комитета

Филимонов С.В. генеральный директор АО «ПО ЭХЗ», г. Зеленогорск, Россия

Lijun Wang Associate professor of Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing, China

Tichy M. Dr., Prof., full professor Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Department of Surface and Plasma Science, Prague, Czech

Plekhanov V.G. Dr., professor, Head of Fonoriton Sci. Lab., Gron Ltd, Tallinn, Estonia

Sungyeol Choi Associate Professor, Department of Nuclear Engineering Seoul National University, South Korea

József-Zsolt Szucs Head of Department of Isotope physics and technology, National Institute for R&D of Isotopic and Molecular Technologies, Cluj, Romania

Duisebayev B.O. Dr., Universal Design Technological Bureau LLP, Almaty, Kazakhstan

Carlos A. Rinaldi Professor at Escuela de Ciencia y Tecnología Universidad de San Martín, Researcher at Centro Atómico Constituyentes CNEA, Buenos Aires, Argentina

Углов В.В. д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой, Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Палкин В.А. д.ф.-м.н., профессор Уральского федерального университета, г. Екатеринбург, Россия

Ильин С.А. директор ЗРИ ОАО «Сибирский химический комбинат», г. Томск, Россия

Власов В.А. д.ф.-м.н., профессор, ректор ТГАСУ, г. Томск, Россия

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель: Долматов О.Ю., директор Инженерной школы ядерных технологий ТПУ

Секретарь оргкомитета: Сукотнова В.В.

Члены организационного комитета

Мышкин В.Ф. (сопредседатель) - д.ф.-м.н., профессор ОЯТЦ ТПУ

Вергун А.П. - д.ф.-м.н., профессор ОЯТЦ ТПУ

Видяев Д.Г. - д.т.н., профессор ОЯТЦ ТПУ

Дорофеева Л.И. - к.ф.-м.н., доцент ОЯТЦ ТПУ

Каренгин А.Г. (зам. председателя) - к.ф.-м.н., доцент ОЯТЦ ТПУ

Новоселов И.Ю. - ассистент ОЯТЦ ТПУ

Орлов А.А. - д.т.н., профессор ОЯТЦ ТПУ

Побережников А.Д. - старший преподаватель ОЯТЦ ТПУ

Рыжакова Н.К. - к.ф.-м.н., доцент ИШФВП ТПУ

Тимченко С.Н. - к.т.н., доцент ОЯТЦ ТПУ

Пленарное заседание

LIJUN WANG

Некоторые аспекты лазерного разделения изотопов

SUNGYEOL CHOI

Molten Salt Technologies for Advanced Nuclear Fuel Cycle

СТРУНИН В.И.

Тихомиров – фронтовик и ученый

PLEKHANOV V.G.

Замечательные свойства изотопического эффекта

DUISEBAYEV B.O.

Ядерная индустрия и ее ветераны как источник и субъект инноваций для экономики

СКОРЫНИН Г.М.

Изобретатель и главный конструктор газовых центрифуг для разделения изотопов. К 100-летию со дня рождения В.И. Сергеева

ZSOLT SZUCS

Principles of Isotope Separation - from separation units to cascades

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ И ОЧИСТКИ ВЕЩЕСТВ

ПАЛКИН В.А., МАСЛЮКОВ Е.В., ЛУБНИН С.С. Оптимизация двойных каскадов алгоритмом пчелиной колонии для очистки регенерированного гексафторида урана от изотопов $^{232, 234, 236}\text{U}$... 16	16
ВЕРЛИНСКИЙ М.В., СУКОТНОВА В.В. Десублимация гексафторида урана в горизонтальную транспортную емкость 48У.....17	17
КАРГИНА П.С. Расчет параметров q-каскада для получения высокообогащенного молибдена-98.....18	18
КЕЙНИХ Д.Д., ТУРБИНА И.А. Динамика заполнения вертикальной погружной емкости с горизонтальными ребрами десублимированным UF_619	19
ПЕТРОВ М.В. Расчет технологических параметров процесса ректификации фторида водорода для разных контактных устройств.....20	20
КИРИЧЕНКО В.А. Численное моделирование газовых течений в молекулярном насосе Хольвека.....21	21
АЛЕКСАНДРОВ Г.О., ЛУБНИН С.С. Построение и расчет несмешивающего каскада для разделения трехкомпонентной смеси.....22	22
ПАЛКИН В.А., ЛУБНИН С.С. Получение $^{92, 98, 100}\text{Mo}$ в каскадах с заданным числом газовых центрифуг в ступенях.....23	23
АЛЕКСАНДРОВ О.Е., ЛУБНИН С.С. Особенности разделительного потенциала для многокомпонентного разделения.....24	24
СУХАРЬ П.А. Тонкое разделение веществ методом ректификации.....25	25
СМИРНОВ А.Ю., ЧИСТОВ А.В. Оптимизация каскадов из участков прямоугольного профиля потока для концентрирования промежуточных изотопов.....26	26
GUSEV V.E., SMIRNOV A.YU. Enrichment schemes for spent nuclear fuel reclaiming.....27	27
БЕЛЯКОВ Д.М., ВЕРГУН А.П. Моделирование процессов изотопного разделения в условиях встречного движения ионов и фаз ионита и раствора в электрохроматографической колонне.....28	28

БЕЛЯКОВ Д.М., ВЕРГУН А.П.	
Направленный поиск, разработка, моделирование разделительных процессов в системах с применением ионитов.....	29
ДОРОФЕЕВА Л.И., СЫЧЕВА А.А., ВЕРГУН А.П.	
Определение оптимальных условий процесса электрохимического обращения потоков фаз при изотопном обмене.....	30
ЧЕРТКОВ М.С.	
Определение условий физико-химического модифицирования мембранных материалов.....	31
УШАКОВ И.А, МАСЛЕННИКОВ Ю.С., ЛОСКУТНИКОВ В.П.	
Разделение нуклидов ^{177}Lu и Yb методом цементации.....	32
ШИНКЕВИЧ Р.А.	
Параметры Q -каскада для получения высокообогащенного селена-74....	33
СЫЧЕВА А.А.	
Определение условий регенерации отработанных технологических растворов.....	34
ГОЛОВКОВ Н.И.	
Определение основных характеристик обменного процесса разделения изотопов щелочных металлов в противоточных системах.....	35
ГОЛОВКОВ Н.И.	
Определение условий процесса иммобилизации жидких радиоактивных отходов.....	36
UMAR MUSTARHA ADAM	
Methods for measuring boric acid concentration.....	37
GODWIN INI	
Decommissioning of nuclear facilities; factors, libilities & future challenges....	38
ГУБАНОВ С. М., КУЛЕШОВ Д. А.	
Расчёт тепломассообменных и термодинамических процессов в турбохолодильной машине.....	39
ГОЛОВКОВ Н.И.	
Оценка физико-химических параметров процессов селективного извлечения компонентов отработанных технологических растворов.....	40
СКОРЫНИН Г.М.	
Изобретатель и главный конструктор газовых центрифуг для разделения изотопов. К 100-летию со дня рождения В.И. Сергеева.....	41
ШИНКЕВИЧ Р.А.	
Влияние размеров и расположения горизонтальных ребер вертикальной погружной емкости на ее среднюю производительность.....	42

Секция 2. ЛАЗЕРНЫЕ И МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ

WANG LIJUN Проблема сверхтонкой структуры уровня атома в $av\text{IIS}$ методе разделения изотопов.....	44
ШИКЕРУНК.Т. Исследование процесса осаждения углерода из низкотемпературной плазмы в магнитном поле.....	45
КИСЕЛЕВ С.С., ЩЕЛКАНОВ А.А., ГУЛЯЕВ Е.А. Обработка данных масс-спектрометрии вторичных ионов: анализ образцов городского атмосферного аэрозоля, собранных летом 2021 года.....	46
ИЖОЙКИН Д.А., ЛУКИН А.В., ХОРОХОРИН Д.М. Отбор нанопорошка, образующегося при лазерном пробое мишени в магнитном поле.....	47
ОСПАНОВА Ш.С., РАХИМЖАНОВА Л.А. Действие магнитном поле на приэлектродные процессы электролизе и электродиализе.....	48
РАХИМЖАНОВА Л.А., ОСПАНОВА Ш.С. Формирование наночастиц в магнитном поле.....	49
РАХИМЖАНОВА Л.А., ОСПАНОВА Ш.С. Компьютерная обработка данных лазерного зондирования гетерогенной плазмы.....	50
ВАН ЦАЙЛУНЬ, ШУКШИНА Д. Д. Диффузия катионов в двойном слое минерала глина.....	51
ХОРОХОРИН Д.М. Возможности контроля процесса лазерной очистки поверхности металлов от внедренных микрочастиц.....	52
ХОРОХОРИН Д.М. Нагрев микрочастиц полупроводника в поле лазерного излучения.....	53

Секция 3. ПЛАЗМЕННЫЕ И ВОДОРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЛОМЬГИН А.Д., ЛАПТЕВ Р.С. Аннигиляции позитронов в наноразмерных металлических многослойных покрытиях ZR\NB после облучения протонами.....	55
КУЗНЕЦОВА А.А., КАРЕНГИН А.А., НОВОСЕЛОВ И.Ю. Плазмохимический синтез топливных оксидных композиций для высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для получения водорода.....	56
БАСС В., ИВАНОВ К.С. Исследование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций для плутоний-ториевого дисперсионного ядерного топлива.....	57

СУНЯЙКИНА А.А., КАРЕНГИН А.А., КУЗНЕЦОВ С.Ю. Исследование процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для дисперсионного REMIX-топлива.....	58
АНДРЕЕВ Д.В. Плазмохимический синтез и исследование сложных оксидных композиций «оксид неодима – оксид самария – оксид магния».....	59
ОГОРОДНИКОВ С.А., БАСС В.И. Плазмохимический синтез и исследование сложных оксидных композиций «оксид самария – оксид церия – оксид магния».....	60
ТИХОНОВ А.Е. Исследование процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для уран-ториевого дисперсионного ядерного топлива	61
РАСТОРГУЕВ В.И. Исследование процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для дисперсионного тох-топлива.....	62
TIKHONOV A.E., RASTORGUEV V.I., NOVOSELOV I.YU. Obtaining of compounds for dispersion nuclear fuel of plutonium-thorium in plasma.....	63
ПОМЕСЯЧНАЯ Е.Д., ШЕСТАКОВА Л.А. Воздушно-плазменная утилизация жидких радиоактивных отходов.....	64
ЩЕРБИНА Д.С. Расчет процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций из водноорганических нитратных растворов урана, плутония и магния.....	65
КАРЕНГИН А.А. Исследование процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для уранового дисперсионного ядерного топлива.....	66
ЕЛЬМИРОВ Д.В. Плазмохимический синтез и исследование оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима и иттрия.....	67
ТУНДЕШЕВ Н.В. Плазменная реконверсия обедненного гексафторида урана в виде газовойоздушных композиций.....	68
КУЗНЕЦОВ С.Ю. Плазмохимический синтез и исследование оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов неодима и иттрия.....	69
НЕВОЛИН Н.Р., МАРЕНКОВА Е.А., КАПИТОНОВ А.Б. Перспективы применения наноразмерных оксидных композиций для избирательного поглощения ^{222}Rn	70
ГОЛОВКОВ Н.И. Разработка получения водорода с использованием процессов на асимметричном переменном токе.....	71
ЦХЕ А.А., МОСТОВЩИКОВ А.В., СОСНОВСКИЙ А.С. Плазмохимическая очистка сточных вод от фармацевтических	

соединений.....	72
PARIMALA RANGAN FIDEL CASTRO	
Turbulence Models for Numerical Simulation of Temperature Distribution in SCWR.....	73
БОРДУЛЕВ Ю.С., ЛАПТЕВ Р.С., КРОТКЕВИЧ Д.Г.	
Влияние +He облучения на дефектную структуру пленки Nb.....	74
МЮСОВА А.Е. ЛУЦЕНКО Ю.Ю.	
Нанесение плёнок нитрида титана на легкоплавкие диэлектрические материалы.....	75
ПОБЕРЕЖНИКОВ А.Д., СУББОТИНА К.А, СМИРНОВ С.В.	
Исследование скорости испарения влаги с поверхности грунта с помощью природных радиоизотопов.....	76
САЦУК Д.В., ПОБЕРЕЖНИКОВ А.Д., ВУКУЛОВ А.В.	
Определение изменения гамма-фона вблизи объектов инфраструктуры города Томска, выполненных из строительных материалов с повышенным содержанием природных радиоизотопов.....	77
КУЗНЕЦОВ С.Ю., КАРЕНГИН А.А., СУНЯЙКИНА А.А.	
Моделирование процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для перспективных типов толерантного тох-топлива.....	78
КАРЕНГИН А.А.	
Математическое моделирование кинетики процесса воздушно-плазменной переработки диспергированных водно-органических нитратных растворов металлов.....	79
КУЗЬМЕНКО А.С.	
Расчет теплообменного устройства для проектирования ректификационной колонны для получения изотопов водорода.....	80
SIDORENKO V.	
Теоретический анализ скорости движения жидкой фазы в насадочной колонне для системы вода–водород.....	81
SIDORENKO V.	
Оценка адекватности расчета кинетики движения паровой фазы в насадочной колонне для системы вода–водород.....	82
БОРЕЦКИЙ Е.А.	
Определение режима нагрева образцов, содержащих стеарат натрия в качестве пластификатора.....	83
БОРЕЦКИЙ Е.А.	
Выбор параметров процесса нагрева пресс-заготовок со стеаратом никеля по результатам термического анализа.....	84
ВИДЯЕВ Д.Г., ВЕРХОРУБОВ Д.Л.	
Анализ влияния выхода водорода при организации обменного процесса в галламных системах.....	85
БОРЕЦКИЙ Е.А., ИВАНОВ В.И., САВОСТИКОВ Д.В.	
Использования вспомогательных веществ для ускорения диффузии водорода в таблетированный углерод.....	86

БОРЕЦКИЙ Е.А., ИВАНОВ В.И., САВОСТИКОВ Д.В. Разработка составов пресс-порошков, обеспечивающих организацию развитой внутренней поверхности технического углерода.....	87
TIKHONOV A.E. Assessment of application of HFT-plasmatrons for plasma recycling of combustible waste in closed NFC.....	88

Секция 4. ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТОПНО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

СЕМЕНОВ А.С. Доклинические исследования радиофармацевтического лекарственного препарата на основе меченных ¹²³ I рекомбинантных адресных молекул для радионуклидной диагностики онкологических заболеваний с гиперэкспрессией HER-2/NEU.....	90
ЛАРИОНОВ В.В., СЮЙ Ш., НЕРОДА А.А. Миграция водорода в системе водород-титан.....	91
ШИКЕРУН К.Т. Способ формирования изотопных структур методом магнетронного распыления «горячей» мишени.....	92
ЧУПРИНА А.Б., ЧУПРИНА А.В, БЕЛЯЕВА И.В. Влияние метеорологических параметров на годовой тренд радиационного фона приземной атмосферы.....	93
ПЕТРАКОВА Н.В., ЧУПРИНА А.В, БЕЛЯЕВА И.В. Использование радиационного мониторинга приземной атмосферы для оценки влагозапаса снежного покрова.....	94
ЛОЖНИКОВ Ф.И., СТАВИЦКАЯ К.О., АЛЬМЯКОВ П.Э. Влияние дисперсного и вещественного состава осадочных пород г. Томска на количество эманулирующего с их поверхности радона.....	95
СТАВИЦКАЯ К.О., ЛОЖНИКОВ Ф.И. Сравнительный анализ результатов измерения плотности потока радоны для горных пород г. Томска и Горного Алтая.....	96
СТАВИЦКАЯ К.О., ЛОЖНИКОВ Ф.И. Влияние физических свойств горных пород на плотность потока радона.....	97
АЛЬМЯКОВ П.Э., ПЛАСТУН С.А., КЕЛСИНГАЗИНА Р.Е. Концентрации радона-222 в поверхностных водах моря Лаптевых.....	98
АЛЬМЯКОВ П.Э., СТАВИЦКАЯ К.О. Проблемы оценки радоноопасности участков застройки и способ их решения.....	99
АЛЬМЯКОВ П.Э., ЧЕРЕПНЕВ М.С. Измерение активности Ra-226 в горных породах разного типа.....	100
АЛЬМЯКОВ П.Э., ПЛАСТУН С.А., КЕЛСИНГАЗИНА Р.Е. Распределения изотопов радона по глубине в акватории	

моря Лаптевых.....	101
КИЗЕЕВА В.Н., ТЕРЕШКИНА П.О.	
Влияние облучения высокоэнергичными ионами He на изменение кристалличности поливинилиденфторидных полимерных пленок.....	102
ЧУМАКОВ Д.К., ЧЕРЕПНЕВ М.С.	
Метод поиска легких нейтронных кластеров в распаде ядер ^{235}U	103
ГРИГОРЬЕВА А.А., БУЛАВСКАЯ А.А., МИЛОЙЧИКОВА И.А.	
Разработка устройства сканирования пучков используемых для производства изотопов.....	104
МАРЕНКОВА Е.А., НЕВОЛИН Н.Р., КАПИТОНОВ А.Б.	
Контроль изотопного состава препаратов на основе радия-223.....	105
ПОПОВ А.В., БОРДУЛЕВ Ю.С., УШАКОВ И.А.	
Источник для in-situ позитронной аннигиляционной спектроскопии термических и водород-индуцированных дефектов на основе изотопа Cu – 64.....	106
ЧИСТЯКОВ С.Г., ФИЛАТОВ Н.А., АЛЕКСЕЕВ Н.В.	
Разработка цифрового спектрометра для гамма-фракциомера.....	107
ПОКРОВСКАЯ Е.А., РОГОВА Н.С.	
Изучение механизмов переноса частиц выбросов промышленных предприятий на основе результатов нейтронно-активационного анализа мхов-биомониторов.....	108
MASHAU M., BEDHESI L	
Evaluation of calculation tools used for yttrium-90 production planning.....	109
KETTER E.K.	
Change of isotope composition of nuclear fuel.....	110
ХОРОХОРИН В.С., ШАМИН В.И., МАКАСЕЕВ А.Ю., ЗОЗУЛЯ М.В.	
Проблемы и перспективы безамальгамной технологии разделения изотопов лития.....	111

Секция 5. ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБРАЩЕНИЕ С РАДИО-АКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

ВОЛГИН А.В., БЕСПАЛА Е.В.	
О возможности лазерной фрагментации газодиффузионных машин для разделения изотопов.....	113
БЕСПАЛА Е.В., ЛАВРЕНТЬЕВ К.А., БЕСПАЛА Ю.Р.	
Об экономической целесообразности дезактивации облученного реакторного графита.....	114
ВАН ЦАЙЛУНЬ, ШУКШИНА Д. Д.	
Исследование двойного диффузионного слоя вокруг минерала глины	115
ВАН ЦАЙЛУНЬ, ШУКШИНА Д. Д.	
Распределение ионов O и H ⁺ в гидратной оболочке ионов при их взаимодействии с минералом глины.....	116
ХУЖАЖИНОВА К. А.	

Разработка рекомендаций для республики казахстан для более широкого использования ядерной энергии на основе анализа суяз российской федерации и зарубежных стран.....	117
ЯКОВЛЕВ Г.А.	
Определение интенсивности ливней по гамма-фону.....	118
ШУМИЛО А.В., ЕСИЛЬКАНОВ Г.М.	
Эффективная удельная активность природных радионуклидов в нефтешламах, с неустановленным нарушенным радиоактивным равновесием в рядах урана и тория.....	119
ЛЕ Ш.Х., КАРЕЛИНА Н.В., КИЕУ Т.Б., КАРЕЛИН В.А.	
Флотационное обогащение ильменитовых руд из вьетнама.....	120
НИКИТИН И.В., ЛОБКОВ Д.С., КАРЕЛИН В.А.	
Особенности экстракции HNO_3 сольватами $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ и HNO_3 с ТБФ.....	121
КИЕУ Б.Т., ЛЕ Ш.Х., КАРЕЛИНА Н.В., КАРЕЛИН В.А.	
Электростатическая сепарация в процессах обогащения ильменитовых руд из вьетнама.....	122
РАСПУТИН И.В., ЖУРАВЛЕВ Н.П., КАРЕЛИН В.А.	
Флокулянты в технологии переработки ОЯТ.....	123
НОВИКОВА В.Д.	
Методы очистки и международный опыт в обращении с радиоактивными материалами природного происхождения.....	124
ШУКШИНА Д.Д., ВАН ЦАЙЛУНЬ	
Зависимость коэффициента диффузии от структурных особенностей монмориллонита.....	125
ПАВЛЕНКО А.П.	
Опыт ФГУП «ГХК» в формировании инженерных барьеров безопасности при выводе из эксплуатации ПУГР.....	126
ПАВЛЕНКО А.П.	
Способ снижения активности облученного реакторного графита.....	127
ПАВЛЕНКО А.П.	
Электроосмотическое восстановление глиносодержащих инженерных барьеров безопасности при выводе из эксплуатации ПУГР.....	128
ОРОКУ С. Е., АМОАН Р. А., IZGAGIN D., STEPANOV B. P.	
Modeling the threat assessment and adversary interruption.....	129
SHCHEGLOVA E. A., АМОАН Р. А., IZGAGIN D., STEPANOV B.P.	
Enhancement of Security Culture using a predictive model to prevent sabotage and theft at radiological facilities.....	130
ANSAH M.N.S., АМОАН Р.А.	
Ensuring security when using radioactive materials in a radiological facility.....	131
УШАКОВ И.А., КРЯЖЕВА Т.Н.	
Нейтронно-активационный качественный анализ графитовых радиоактивных отходов.....	132
ГОРЛОВА Ю.Е., ГУМЕННИКОВ Д.А.	

Реализация проектов вывода из эксплуатации радиохимических производств.....	133
КУЗЬМЕНКО А.С.	
Методика расчета поглощенной и эквивалентной дозы в пакете GEANT4.....	135
ЧЕБОТАРЕВ К.Р.	
Разработка методов вывода из эксплуатации энергетических ядерных реакторов и их применение на практике.....	136
ПАВЛЕНКО А.П.	
Мониторинг состояния пугр, выведенного из эксплуатации по варианту безопасное захоронение на месте.....	137
LUQMAN A BELLO	
Analysis of Mitigating Threats of Unmanned Aerial Vehicle Using Physical Protection System Elements	138
СЫЧЕВ А.В., ПАК А.Д. БАЖЕНОВ Д.А.	
Дезактивация образцов металлических отходов загрязнённых радиоактивными веществами с масляными загрязнениями на поверхностях.....	139
СЫЧЕВ А.В., ПАК А.Д. БАЖЕНОВ Д.А.	
Жидкостная дезактивация образцов металлических отходов загрязнённых радиоактивными веществами.....	140
PUSHKARSKIY R. V., АМОАН Р. А., ANSAN M.N.S.	
Analytical reveiw of historical discharge data.....	141
БАБАЕВ Р.Г.	
Оценка доли свободного объема в таблетках на основе углеродной матрицы.....	142
БАБАЕВ Р.Г.	
Определение истинной плотности углеродной матрицы в модельных таблетках дисперсного топлива.....	143
ВИДЯЕВ Д.Г., ЗАЙЦЕВ И.К.	
Исследование процесса получения оксидов имитаторов компонент дисперсного топлива.....	144
ЗАЙЦЕВ И.К., СУКОТНОВА В.В.	
Отработка стадии подготовки пресс-порошка модельных топливных таблеток.....	145
ЧЕБОТАРЕВ К.Р.	
Анализ методов обращения с радиоактивными иловыми отложениями бассейнов выдержки.....	146
БАБАЕВ Р.Г.	
Отработка состава модельных таблеток дисперсионного топлива.....	147
КАН Р.И., КОТЛЯРЕВСКАЯ А.С.	
Особенности пространственного распределения ключевых радионуклидов активационного происхождения в облученном графите уран-графитовых реакторов.....	148

Секция 1

**МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ
ИЗОТОПОВ И ОЧИСТКИ ВЕЩЕСТВ**

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ДВОЙНЫХ КАСКАДОВ АЛГОРИТМОМ ПЧЕЛИНОЙ КОЛОНИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО ГЕКСАФТОРИДА УРАНА ОТ ИЗОТОПОВ $^{232, 234, 236}\text{U}$

Палкин В.А., Маслоков Е.В., Лубнин С.С.

Научный руководитель: Палкин В.А., д.т.н., профессор
Уральский Федеральный университет, 620002, Россия, г. Екатеринбург,
ул. Мира, 19

E-mail: stepalubnin@gmail.com

Накопление регенерированного урана, полученного из облученного топлива ядерных легководных реакторов, ставит ряд практических проблем, требующих решения. Одной из них является повторное использование регенерированного урана для воспроизводства ядерного топлива. Концентрация основного делящегося вещества ^{235}U в нем выше, чем в природном уране [1]. Однако в нем присутствуют вредные изотопы $^{232, 234, 236}\text{U}$, затрудняющие его использование. Изотопы $^{232, 234}\text{U}$ в низкообогащенном уране (концентрация ^{235}U менее 5 %) существенно ухудшают радиационную обстановку при изготовлении ядерного топлива. Повышенное содержание в топливе ^{236}U ведет к увеличению паразитного захвата нейтронов и необходимости компенсирующего увеличения концентрации ^{235}U .

В настоящей работе предложена схема двойного каскада для снижения концентрации изотопов $^{232, 234, 236}\text{U}$ в регенерированном гексафториде урана. В отборе первого ординарного каскада, обогащенном по ^{235}U до концентрации менее 20 %, обеспечивается наибольшее снижение отношения масс $^{236}\text{U}/^{235}\text{U}$. Для этого определен специальный режим работы ступеней с использованием алгоритма пчелиной колонии. Во втором ординарном каскаде, питанием которого является отбор первого, производится обогащение по $^{232, 234}\text{U}$. Отвальный поток, очищенный от $^{232, 234}\text{U}$, разбавляется до концентрации ^{235}U менее 5 %. Приведена методика расчета параметров каскадов с коэффициентами разделения ступеней, соответствующими газовым центрифугам. На ее основе проведен вычислительный эксперимент. Показано, что полученный после разбавления продукт по изотопам $^{232, 234}\text{U}$ удовлетворяет требованиям спецификации ASTM C996-20 для низкообогащенной коммерческой градации гексафторида урана. Содержание ^{236}U в нем в несколько раз меньше, чем при прямом обогащении регенерированного гексафторида урана.

1. Coleman J.R., Knight T.W. Evaluation of multiple, self-recycling of reprocessed uranium in LWR// Nucl. Eng. And Design. –2010. –V. 240. –P. 1028–1032.

ДЕСУБЛИМАЦИЯ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА В ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ТРАНСПОРТНУЮ ЕМКОСТЬ 48У

Верлинский М.В., Сукотнова В.В.

Научный руководитель: Орлов А.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mvv17@tpu.ru

Процесс десублимации UF_6 является неотъемлемой частью технологии обогащения урана. Потоки UF_6 на выходе из каскада газовых центрифуг, обогащенные и обедненные по изотопу ^{235}U десублимируют в транспортные емкости. На практике наибольшее распространение получили вертикальные погружные транспортные емкости без внутреннего оребрения, с горизонтальным и вертикальным оребрением, а также горизонтальные транспортные емкости без внутреннего оребрения, которые используют, в основном, для импорта/экспорта UF_6 [1, 2].

В настоящее время актуально проведение исследований процесса десублимации UF_6 в горизонтальные транспортные емкости для того, чтобы выяснить какие емкости предпочтительней применять на разделительных предприятиях отрасли горизонтальные или вертикальные. Наиболее перспективным способом решения подобного рода задач является использование математического моделирования, поскольку экспериментальный подход дорог и занимает много времени.

В связи с этим, была создана и программно реализована математическая модель процесса десублимации UF_6 в горизонтальные транспортные емкости.

С помощью этой модели проведены расчеты динамики заполнения горизонтальной транспортной емкости 48У объемом $4,04 \text{ м}^3$ десублимированным UF_6 до 70% ее свободного объема при давлении UF_6 в коллекторе 250 мм рт. ст., температуре хладагента 3°C .

Время заполнения емкости до 70% ее свободного объема составило 392 часа, конечная масса десублимированного UF_6 14400 кг, средняя производительность емкости 36,687 кг/час.

1. Orlov, A. A. Methods of uranium hexafluoride purification / A. A. Orlov, R. V. Malyugin // *Advanced Materials Research*. – 2015. – Vol. 43. – P. 46–49.
2. Orlov, A. A. Way of obtain uranium hexafluoride / A. A. Orlov, R. V. Malyugin // *Advanced Materials Research*. – 2015. – Vol. 43. – P. 338–341.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ Q-КАСКАДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКООБОГАЩЕННОГО МОЛИБДЕНА-98

Каргина П.С.

Научный руководитель: Орлов А.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 2
E-mail: psk22@tpu.ru

Работа посвящена расчету параметров Q-каскада для получения высокообогащенного молибдена-98, а также сравнению двух технологических схем его получения: четырех-поточной и многоступенчатой.

При расчете параметров Q-каскада установлено, что за один этап разделения получить требуемую концентрацию ^{98}Mo (90%) невозможно. Максимальная концентрация целевого изотопа на первом этапе разделения составляет 74.93% на 7 ступени и 64.99% на ступени отбора тяжелой фракции каскада.

В результате проведенных расчетов 1 и 2 этапов разделения получены профили соответствующих Q-каскадов и зависимости распределения концентрации изотопов молибдена по их ступеням. Показано, что изотопы молибдена распределяются по ступеням каскада в соответствии с их массовыми числами.

Показано, что на втором этапе разделения при использовании четырехпоточной схемы и многоэтапного разделения, удастся добиться 90% концентрации ^{98}Mo в отборе легкой фракции каскада. Установлено, что количество ступеней при многоэтапном разделении на 8,4 ступени (на 17,3%), суммарный поток на 14% и производительность в ступени подачи питания на 2.6% меньше, чем в четырех-поточной технологической схеме, поэтому вариант многоэтапного разделения является предпочтительным.

Кроме того, в отборе тяжелой фракции каскада получается ^{100}Mo обогащенный до 99%, который может быть использован для получения $^{99\text{m}}\text{Tc}$ в ускорителях заряженных частиц.

ДИНАМИКА ЗАПОЛНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОГРУЖНОЙ ЕМКОСТИ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ РЕБРАМИ ДЕСУБЛИМИРОВАННЫМ UF₆

Кейних Д.Д., Турбина И.А.

Научный руководитель: А.А. Орлов, д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634034, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ddk10@tpu.ru

Для десублимации UF₆ используются погружные транспортные емкости различного объема без ребрения, с горизонтальным или вертикальным ребрением. Ребрение внутренней поверхности емкостей используется для увеличения площади их теплообменной поверхности и производительности.

В работе исследовалось влияние диаметра центрального отверстия горизонтальных ребер емкости на динамику ее заполнения десублимированным UF₆ для определения возможности повышения средней производительности данной емкости.

Объектом исследования являлась вертикальная погружная емкость с горизонтальным ребрением объемом 60 литров.

Для исследования выбрано 5 конфигураций расположения центральных отверстий в горизонтальных ребрах:

- 1) все ребра имеют одинаковый диаметр центрального отверстия в форме цилиндра;
- 2) диаметр центральных отверстий ребер линейно уменьшается от верхнего 1-го ребра к нижнему 13-му ребру – форма усеченного конуса;
- 3) диаметр центрального отверстия первого ребра не изменяется, а диаметр центральных отверстий последующих ребер уменьшался с шагом в $1,0 \cdot 10^{-3}$ м до момента их «перемерзания», образуя в верхней части емкости усеченный конус, а в нижней части емкости – цилиндр;
- 4) центральные отверстия в верхних ребрах имеют больший диаметр, а в нижних меньший – форма два цилиндра разного диаметра
- 5) центральные отверстия в ребрах выполнены в виде 3-х цилиндров различного диаметра.

Определены максимальные значения средней производительности емкости с различной конфигурацией центрального отверстия в ребрах. Увеличение средней производительности емкости относительно стандартной геометрии ребер для конфигурации цилиндр составляет 2,8 %, усеченный конус – 3,21 %, усеченный конус в верхней части и цилиндр в нижней – 3,34 %, два цилиндра – 3,30 %, три цилиндра – 3,29 %.

Показано, что использование различных конфигураций центральных отверстий в ребрах емкости приводит к незначительному увеличению ее средней производительности (на 2,80...3,34 %). С точки зрения простоты изготовления данной емкости рекомендовано использовать конфигурацию центральных отверстий в виде цилиндра с диаметром 64 м.

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ ФТОРИДА ВОДОРОДА ДЛЯ РАЗНЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ

Петров М.В.

Научный руководитель: Орлов А.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: MPetrov.971@mail.ru

При обогащении урана по ^{235}U на разделительных производствах используют газообразный гексафторид урана (UF_6). Одним из конечных продуктов этого процесса является значительное количество обедненного по ^{235}U гексафторида урана (ОГФУ). В настоящее время ОГФУ складировать в стальных контейнерах, изготовленных из легированной стали с толщиной не менее 8 мм. Количество ОГФУ в мире достигает двух миллионов тонн, из которых около одного миллиона тонн находится в России. Длительное хранение ОГФУ в стальных емкостях на открытых площадках под вредным воздействием атмосферно-климатических факторов приводит к их разрушению вследствие коррозии и к возможному загрязнению окружающей среды ураном и фтористым водородом, что может привести к масштабной экологической катастрофе. При этом в ОГФУ содержится большее количество фтора, который может быть извлечен, что позволит замкнуть ядерный топливный цикл по фтору [1].

Проблема хранения отходов разделительных производств в какой то мере решена в результате перевода ОГФУ в АО «ПО ЭХЗ» на установке W в значительно более безопасную для хранения форму – закись-окись урана U_3O_8 . Из UF_6 извлекается фтор и дополнительно образуется 70% плавиковая кислота (HF) [1]. Затем плавиковую кислоту подвергают переработке в ректификационной колонне, в результате чего получают безводный HF и 42% фтороводородная кислота, которые можно использовать, как на сублиматных производствах для получения UF_6 , так и на химических и других предприятиях, потребляющих HF [2].

Данная работа направлена на поиск наиболее эффективного варианта реализации процесса ректификации в системе «фторид водорода–вода».

В ней приведены результаты расчета и сравнения технологических параметров процесса ректификации в указанной системе для разных контактных устройств с использованием специально разработанного программного обеспечения.

1. Патент РФ №2126362. Способ восстановления безводного фтористого водорода из обедненного гексафторида урана / Д. Местели. Приоритет 21.01.1993.
2. Патент РФ №2447013. Способ получения безводного фтороводорода и плавиковой кислоты / А.В. Волоснев, О.Б. Громов, М.В. Медведев и др. Приоритет 19.04.2010.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВЫХ ТЕЧЕНИЙ В МОЛЕКУЛЯРНОМ НАСОСЕ ХОЛЬВЕКА

Кириченко В.А.

Научный руководитель: Токманцев В.И. д.т.н., доцент
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 19
E-mail: kirichenko.vadim.a@yandex.ru

Одной из основных проблем для центрифужной технологии разделения является создание оптимальных условий для работы вращающегося ротора центрифуги. Наличие плотной среды, контактирующей с внешней поверхностью ротора, создаёт высокое сопротивление вращению. Это приводит к необходимости вакуумирования зазора между ротором и корпусом центрифуги. С этой целью обычно применяются молекулярные уплотнения (насосы Хольвека). Для описания течения разреженного газа в таком молекулярном уплотнении необходимо использовать кинетическое уравнение для функции распределения по координатам и скоростям молекул.

В настоящей работе исследуются кинетические особенности течения газа в молекулярном уплотнении с точки зрения возможности оптимизации расчетов, что необходимо для дальнейшего повышения точности производства и улучшения рабочих характеристик.

Рассматривается газ в промежутке высотой H между быстро вращающимся с угловой частотой Ω внутренним цилиндром радиусом r_1 и неподвижным внешним цилиндром радиусом r_2 . На внутренней поверхности внешнего цилиндра задаются упрощенные граничные условия, имитирующие множественные канавки в виде спиралей. Температура стенок цилиндра задана и поддерживается постоянной. Показано, что степень сжатия газа в уплотнении существенно зависит от граничных условий на стенках уплотнения, режима течения и значительно превышает единицу при скорости вращения, порядка местной скорости звука.

1. Р. Либов. Введение в теорию кинетических уравнений. -М.: Мир, 1974.-372с.
2. Разделение стабильных изотопов бора в прямоточных газовых центрифугах/В.И. Токманцев, В.А. Палкин//Атомная энергия, 2017 -Вып.123(1) –с.40-44.

ПОСТРОЕНИЕ И РАСЧЕТ НЕСМЕШИВАЮЩЕГО КАСКАДА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИ

Александров Г.О., Лубнин С.С.

Научный руководитель: Александров О.Е., к.ф.-м.н., доцент
Уральский федеральный университет, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
E-mail: goa-2003@mail.ru

Разделение смесей изотопов, содержащих более двух компонентов, актуальная задача современных технологических процессов []. Эффективное разделение таких смесей требует теоретического описания процесса и отыскания оптимальных способов его организации.

Важной частью организации процесса разделения является построение разделительного каскада. Наилучшим вариантом каскада является не смешивающий (идеальный) каскад, это следствие закона сохранения вещества. Если внутри каскада не происходит смешения разделенных компонент, то нет потерь работы разделения и, следовательно, каждый разделительный элемент используется наилучшим образом. Существуют работы, где утверждается, что для многокомпонентного разделения идеальный каскад невозможен в принципе [2].

В настоящей работе предложено обобщение теории бинарного идеального каскада на случай многокомпонентного разделения.

Рассмотрены особенности определения разделительного элемента для многокомпонентного разделения.

Предложена схема соединения элементов в каскад на примере трехкомпонентной смеси.

Записаны уравнения сохранения вещества для предложенной схемы в случае трехкомпонентной смеси.

В пределе малых коэффициентов обогащения получены дифференциальные уравнения для связи концентрации смеси и потоков в каскаде. Показано, что уравнения аналогичны уравнениям идеального бинарного каскада.

Результаты работы могут быть использованы для построения и оптимизации каскадов многокомпонентного разделения.

1. Орлов А.А., Ушаков А.А., Совач В.П., Малюгин Р.В. Математическое моделирование нестационарных разделительных процессов в каскаде газовых центрифуг для разделения изотопов вольфрама – ИФЖ, 2018, том: 91, №: 3, с. 605-614.
2. Смирнов А.Ю., Сулаберидзе Г.А. Универсальный разделительный потенциал для многокомпонентных смесей: причины отсутствия – Журнал Физической Химии, 2019, т. 93, № 4, с. 627–631.

ПОЛУЧЕНИЕ ^{92,98,100}Mo В КАСКАДАХ С ЗАДАННЫМ ЧИСЛОМ

ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ В СТУПЕНЯХ

Палкин В.А., Лубнин С.С.

Научный руководитель: Палкин В.А., д.т.н., профессор
Уральский Федеральный университет, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
E-mail: stepalubnin@gmail.com

Модели каскадов, применяющиеся в теории разделения изотопов, позволяют без больших сложностей рассчитать и оптимизировать процессы разделения разных компонентов изотопной смеси. Наибольший интерес представляют модели каскадов из разделительных ступеней с большими коэффициентами разделения, соответствующими газовым центрифугам. Для таких каскадов с тремя и четырьмя внешними потоками разработаны методы расчета параметров, основанные на использовании парциальных потоков изотопных компонентов [1–4]. Их особенностью является задание срезов этих потоков и коэффициентов разделения одинаковыми константами по ступеням. В данной работе представлен метод расчета параметров каскадов с заданным числом газовых центрифуг в ступенях, коэффициенты разделения которых зависят от их потока питания и коэффициента деления потока. Это позволяет определить наиболее близкие к практике режимы работы каскадов.

С использованием рассмотренной методики был проведен вычислительный эксперимент по разделению гексафторида молибдена и концентрированию изотопов $^{92,98,100}\text{Mo}$ с низким сечением захвата нейтронов в выходящих потоках ординарных и двойных каскадов. Определены особенности получения из отвалных и отборных продуктов таких каскадов изотопомодифицированного молибдена, пригодного для создания реакторных материалов с улучшенными теплофизическими характеристиками. Исследовано влияние факторов, связанных с потоком питания каскадов и типами ступеней по числу газовых центрифуг. Показано, что потоки питания и коэффициенты разделения ступеней каскадов газовых центрифуг существенно отличаются от прямоугольных и прямоугольно-секционированных каскадов.

1. Yamamoto I., Kanagava A. Multicomponent isotope separating cascade composed of elements with large separation factors. *J. Nucl. Sci. Technol.* – 1978. – Vol. 15, – No. 8. – P. 28–32.
2. Сазыкин А. А. Термодинамический подход к разделению изотопов. В книге: *Изотопы: свойства, получение, применение.* Под ред. В. Ю. Баранова. Москва: ИздАТ, – 2000. С. – 72–108.
3. Sulaberidze G. A., Borisevich V. D. Cascades for separation of multicomponent isotope mixtures. *Sep. Sci. Technol.* – 2001. – Vol. – 36, – Nos. 8/9. – P. 1769–1817.
4. Сулаберидзе Г. А., Борисевич В. Д., Цюаньсинь Се. Квазиидеальные каскады с дополнительным потоком для разделения многокомпонентных изотопных смесей. *Теорет. осн. хим. технол.* – 2006. – Т. 40, – № 1. – С. 7–16.

ОСОБЕННОСТИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

Александров О.Е., Лубнин С.С.

Научный руководитель: Александров О.Е., к.ф.-м.н., доцент
Уральский федеральный университет, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
E-mail: stepalubnin@gmail.com

Одним из важных элементов теории разделения является понятие разделительного потенциала. Последние работы в этой области свидетельствуют, об интересе к определению потенциала для многокомпонентных смесей и предлагают различные критерии для наиболее правильного варианта его представления. Есть работы, где высказывается мнение, что разделительный потенциал для многокомпонентного разделения не существует [1].

В настоящей работе проанализированы варианты определения разделительного потенциала для многокомпонентной смеси. Рассмотрены особенности определения потенциала для многокомпонентного разделения. Предложена интерпретация постулата Дирака о независимости разделительной мощности устройства от концентрации смеси. На основе этой интерпретации предложено ввести понятие общего и частного разделительного потенциала.

Для потенциала основным физическим смыслом является оценка минимальных затрат энергии на разделение. Для многокомпонентного случая можно сформулировать поиск минимально необходимых затрат энергии по разному.

Первый вариант. Постулировать, что отделение от смеси молекулы любого из компонентов требует равных затрат энергии. Требование равенства компонентов приводит к задаче нахождения общего разделительного потенциала, или задаче об абсолютном термодинамическом минимуме затрат.

Второй вариант. Для практических задач общий разделительный потенциал не всегда удобен. Вычисление разделительной мощности реального устройства, например центрифуги, при разной концентрации питающей смеси дает различные значения. Это не позволяет использовать потенциал для практической оценки числа разделительных элементов в каскаде. Для конкретного разделительного устройства можно поставить задачу определения частного разделительного потенциала, удовлетворяющего требованию постоянства разделительной мощности устройства.

В работе получено выражение для частного многокомпонентного разделительного потенциала газовой центрифуги.

1. Смирнов А.Ю., Сулаберидзе Г.А. Универсальный разделительный потенциал для многокомпонентных смесей: причины отсутствия – Журнал Физической Химии, 2019, т. 93, № 4, с. 627–631.

ТОНКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ РЕКТИФИКАЦИИ

Сухарь П.А.

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

Изотопы лёгких элементов разделяют преимущественно физико-химическими методами, к которым относится и метод ректификации, в котором используются двухфазные системы жидкость-пар (газ). Из-за малых значений коэффициента разделения при разделении изотопов применяются противоточные ректификационные аппараты колонного типа, заполненные различными контактными устройствами. Использование таких аппаратов в промышленности позволяет многократно умножить коэффициент разделения и получить изотопную продукцию заданной концентрации [1].

Экспериментальное исследование процессов тонкого разделения на практике представляет собой сложную задачу, которая требует глубоких знаний физико-химических основ процессов разделения и методик проведения исследований. Определение технологических и конструктивных параметров ректификационных колонн целесообразно проводить расчетным путем. В связи с этим актуальным является совершенствование методик расчета параметров ректификационных колонн, увеличение быстродействия и точности проводимых расчетов, создание универсальных методик и программного обеспечения (ПО) для расчета разных типов колонн, использование новых подходов определения параметров и автоматизированного поиска оптимального варианта реализации разделительной установки.

В данной работе приведены результаты верификации разработанных методики и ПО [2] для разделения веществ с близкими физико-химическими свойствами на примере системы «этанол-изопропанол».

Показано, что результаты расчетов хорошо согласуются с данными других авторов [3], что позволяет сделать вывод о применимости методики и ПО при расчете ректификационных установок для разделения изотопов.

1. Чердниченко С.А. Термодинамика и массообмен в процессах тонкого разделения в противоточных колоннах: учеб. пособие / С.А. Чердниченко, А.В. Хорошилов. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014. – 68 с.
2. Сухарь П.А. Создание программного обеспечения для проектирования и расчета ректификационных колонн. // Сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы: технологии, материалы и применение». – Томск, 26 – 29 октября 2020 г, Томский политехнический университет, 2020 – С. 91
3. Ульянов Б.А., Бадеников В.Я., Ликучев В.Г. Процессы и аппараты химической технологии. Ангарск: Издательство Ангарской государственной технической академии, 2006 г. – 743 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ КАСКАДОВ ИЗ УЧАСТКОВ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПОТОКА ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ИЗОТОПОВ

Смирнов А.Ю., Чистов А.В.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409,
Россия, г. Москва, Каширское ш., 31

E-mail: a.y.smirnoff@rambler.ru

Рассмотрен каскад, составленный из участков постоянной ширины («прямоугольных» участков), Ж имеющий поток дополнительного отбора и позволяющий концентрировать промежуточный по массовому числу компонент. Для рассмотренного каскада разработана оригинальная методика оптимизации его параметров, позволяющая в рамках одновременно варьировать, как непрерывные переменные задачи (отношения величин потоков каскада), так и дискретные величины, такие как число ступеней и номера ступеней подачи внешнего питания и выхода дополнительного потока отбора.

Эффективность предлагаемого метода концентрирования промежуточных стабильных изотопов, а также предложенной методики оптимизации продемонстрированы на примере разделения смесей с различным числом компонентов (модельная трехкомпонентная смесь, смеси изотопов вольфрама и криптона природного состава) и при различных внешних условиях.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-00152).

ENRICHMENT SCHEMES FOR SPENT NUCLEAR FUEL RECLAIMING

Gusev V.E., Smirnov A.Yu.

National Research Nuclear University "MEPhI", 115409, Russia, Moscow,
Kashirskoe sh., 31

E-mail: gusevvlad13@mail.ru

The problem of spent nuclear fuel is receiving considerable attention as its quantities continue to accumulate worldwide. The problem of long-term fresh fuel supply is also unavoidable. One of the strategies to fix both of them, which is already pursued in Russia, is to reuse nuclear material. The uranium, in this way, could be recycled multiple times in light water reactors (LWR). To do this, every time the irradiated fuel should be reprocessed to extract the uranium. This regenerated uranium should be enriched to get reactor-grade fuel while taking into account the limitations on reactor-born isotopes in the final product. The only way to do this is with enrichment cascades. But, if it is necessary to recycle the uranium several times, not every scheme is reliable. Besides, sometimes there is a requirement to produce the equivalent amount of fresh fuel from the used one. For such a task, when it is necessary to comply with the conditions for the complete return of nuclear materials to the fuel cycle configurations based on ordinary three-stream cascades are not suitable for multiple reprocessing of uranium. In this paper, we propose the development of the ideas of previously proposed enrichment schemes, which make it possible to solve the problem of returning uranium to the fuel cycle of light water reactors under the condition of multiple reuse. The major aim is to eliminate the side effect of schemes based on dual cascade schemes -- the accumulation of abnormal waste, which is proposed in this work.

The study was carried out with the support of the grant from the Russian Science Foundation (project No.20-79-00152).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗОТОПНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВСТРЕЧНОГО ДВИЖЕНИЯ ИОНОВ И ФАЗ ИОНИТА И РАСТВОРА В ЭЛЕКТРОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЙ КОЛОННЕ

Беляков Д.М., Вергун А.П.

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

E-mail: dmb8@tpu.ru

Мембранные, электроионитные и обменные процессы являются перспективными в отношении разработки новых методов разделения изотопов и тонкой очистки веществ. Дальнейшее развитие науки и техники в этой области связано с поиском и реализацией путей разработки, создания материалов, обеспечивающих высокую эффективность ионообменных процессов.

Для моделирования, определения оптимальных условий разделения изотопов различных элементов при изотопном обмене и электрохроматографии и использовались методы планирования экстремальных экспериментов [1, 2]. Методы планирования экспериментов позволяют описывать процесс разделения в подобных системах функцией, представленной в виде полинома. Такой характер модели позволяет не только учесть разнообразие факторов [3], влияющих на основные показатели процесса, но и дать оценку вклада каждого фактора в величину исследуемой функции. При проверке полученных уравнений на адекватность по критерию Фишера установлено, что полученные математические модели адекватно описывают разделительные процессы.

Большой интерес с точки зрения адекватного описания процессов изотопного разделения представляет использование обобщенных критериев оптимизации. Экспериментальные исследования по разделению изотопов проводились на разработанных электрохроматографических установках для условий встречного движения ионов и обеих фаз в колонне. При компьютерном моделировании рассматриваемого процесса разработаны программы, позволяющие рассчитать величины ВЭТТ процессов разделения [4], оценивать размеры электрохроматической колонны, определять требуемую скорость противотока в устройстве, анализировать распределение концентраций в аппаратах, производить оптимизацию процессов. В случае каскадирования установок предложенные программы позволяют рассчитывать распределение потока и концентрации выделяемого изотопа по ступеням.

1. Власов В.А., Вергун А.П., Орлов А.А., Тихонов Г.С. Разделительные процессы с применением ионообменных материалов: Учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2002. – 121 с.
2. Балашков В.С., Вергун А.П. Моделирование и оптимизация гибких обменных и электроионитных систем изотопного разделения // Известия высших учебных заведений «Физика», – 2010. – №11/2, – с.154-157.
3. Dorofeeva L.I., Kuan N. A. Modeling of sorption processes on solid-phase ion-exchangers // AIP Conference Proceedings: 4, Isotopes: Technologies, Materials and Application, Tomsk, 30 октября – 03 2017 года. – Tomsk, 2018. – P. 020021. – DOI 10.1063/1.5027228.
4. Дорофеева Л. И., Басс В. И. Моделирование процесса электрохимического обращения потоков фаз при изотопном обмене // Изотопы: технологии, материалы и применение: Сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Томск: Томский политехнический университет, 2020. – С. 88.

НАПРАВЛЕННЫЙ ПОИСК, РАЗРАБОТКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОНИТОВ

Беляков Д.М., Вергун А.П.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dmb8@tpu.ru

В плане разработки новых разделительных процессов перспективны системы, включающие ионообменные материалы. Проведены исследования способа разделения изотопных и ионных смесей, основанного на совмещении электрохроматографии и изотопного обмена в колоннах с движущейся фазой ионита.

При выборе ионитов для рассматриваемого процесса используется метод направленного поиска систем с максимальными разделительными свойствами. Разработана компьютерная программа, позволяющая определять скорость движения фронта разделяемых ионов [1] в зависимости от плотности тока и отношения изучаемых подвижностей. Расчеты проведены как для монополярных ионитов, так и для смешанного слоя ионообменников.

Экспериментальная установка, реализующий данный метод разделения, включает противоточные обменные колонны и электродиализатор, в котором происходит обращение потоков фаз. В колонне осуществляется встречное движение ионита и раствора. Ионообменник движется в колонне сверху вниз. Скорость его движения может изменяться в широких пределах. Раствор подается в нижнюю часть колонны. На основании значений коэффициентов взаимодиффузии [2] определены величины ВЭТС. Полученные расчетные значения этих величин согласуются с экспериментальными данными. Далее разделительный процесс осуществляется в электрохроматографической колонне.

На основании результатов по разделению изотопов в обменных [3] и электроионитных процессах разработана компьютерная программа применительно к каскаду разделительных установок. Программа позволяет анализировать работу каскада в стационарных и нестационарных условиях. Рассматривается влияние флуктуаций основных параметров на эффективность работы каскада. Программа позволяет определять концентрационные профили, характер распределения потоков выделяемого изотопа по ступеням каскада.

1. Балашков В.С., Вергун А.П. Моделирование и оптимизация гибких обменных и электроионитных систем изотопного разделения // Известия высших учебных заведений «Физика», -2010. - №11/2, - с.154 – 157.
2. Дорофеева Л. И., Басс В. И. Моделирование процесса электрохимического обращения потоков фаз при изотопном обмене // Изотопы: технологии, материалы и применение: Сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 88.
3. Dorofeeva L.I., Kuan N. A. Modeling of sorption processes on solid-phase ion-exchangers // AIP Conference Proceedings: 4, Isotopes: Technologies, Materials and Application, Tomsk, 30 октября – 03 2017 года. – Tomsk, 2018. – P. 020021. – DOI 10.1063/1.5027228.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБРАЩЕНИЯ ПОТОКОВ ФАЗ ПРИ ИЗОТОПНОМ ОБМЕНЕ

Дорофеева Л.И., Сычева А.А., Вергун А.П.

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

E-mail: dorofeyeva@tpu.ru

Обменные процессы, основанные на физико-химических принципах обогащения целевого компонента, имеют практическую значимость для получения моноизотопной продукции, используемой в разных областях науки, техники и медицины.

Полнота выделения целевого изотопа из исходной смеси определяется термодинамическим коэффициентом разделения, который зависит от условий организации процесса. Поиск эффективных методов снижения затрат на отдельные стадии процесса разделения [1] является одним из важнейших направлений для теоретических и экспериментальных исследований. Обращение потоков фаз электрохимическим методом в обменных двухфазных системах позволяет значительно сократить затраты на выделения целевого изотопа, обеспечить непрерывность процесса разделения.

Организация непрерывного процесса обогащения при встречном движении фаз двухфазной системы ионообменник - раствор в обменной колонне с последующим обращением потоков электрохимическим методом в электродиализаторе [2] требует учета ряда факторов, которые обеспечивают эффективную работу всего устройства. При поиске оптимальных условий осуществления процесса определялись скорости переноса вещества в вертикальном и горизонтальном направлениях. Количество вещества, переносимого через поперечное сечение колонны [3], определялось с учетом линейной скорости движения твердой фазы и типа ионообменного материала. Величина высоты эквивалентной теоретической ступени находилась с учетом внутренней, внешней и продольной диффузии в колонне. Величина степени разделения изотопов легких щелочных элементов изменялась в пределах $1,021 \div 1,092$ в зависимости от условий осуществления процесса. Анализ уменьшения концентрации замещаемых ионов при вытеснении зоной, обеднённой по легкому изотопу, показывает эффективность использования процесса электромиграции для обращения потоков фаз при изотопном обмене.

1. Изотопы: свойства, получение, применение. В 2 т. Т. 1 / Под. ред. В.Ю. Баранова. – М.: Физматлит, 2005. – 600 с.
2. Разделение изотопов и ионов с близкими свойствами в обменных процессах с электрохимическим обращением потока фаз / А.П. Вергун, И.А. Тихомиров, Л. И. Дорофеева // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]— 2003. — Т. 306, № 3. — С. 66-70
3. Дорофеева Л. И., Басс В. И. Моделирование процесса электрохимического обращения потоков фаз при изотопном обмене // Изотопы: технологии, материалы и применение: Сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Томск: Томский политехнический университет, 2020. – С. 88.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ МЕМБРАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Чертков М.С.

Научный руководитель: Дорофеева Л.И., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: msc6@tpu.ru

На данный момент одним из современных методов фундаментальной науки являются пучки ускоренных ионов. В настоящее время они используются в прикладных нанотехнологических задачах как средство для модификации материалов, а также с целью создания нанометрических структур. Основой данной технологии является явление прохождения высокоэнергетичной частицы сквозь материал, что формирует латентный трек малого диаметра.

В целом технология получения трековых мембран [1] состоит из нескольких этапов, оказывающих значительное воздействие на конечный результат, при этом плотность пор прямо пропорциональна времени травления, а проницаемость прямо пропорциональна дозе облучения. Полимеры, часто используемые в качестве материалов для микрофильтрационных мембран, не являются такими же, которые применяют для получения ультрафильтрационных мембран.

Мембранные процессы [2], основанные на ультрафильтрации, по своей природе находятся в промежуточном положении между обратным осмосом и микрофильтрацией. Это значит, что размеры пор таких мембран варьируются от 1 нм до 100 нм и используются для очистки растворов веществ различного происхождения. При ультрафильтрации дисперсионная фаза проникает через мембрану сквозь поры, а макромолекулы задерживаются на поверхности, что, порой, ведет к загрязнению мембраны и уменьшению потока. Может показаться, что ультрафильтрация отличается от микрофильтрации только размером пор. На самом деле мембраны для данных процессов создаются по разным методикам и схожи в одной – метод инверсии фаз.

Процесс фильтрации воздуха трековой мембраной аналогичен процессу фильтрации воды. Поры диаметром в несколько десятков нанометров не пропускают частицы смога, бактерии, микроорганизмы, находящиеся в воздухе. Молекулы же кислорода беспрепятственно будут проходить сквозь мембрану. Трековые мембраны хорошо задерживают микрочастицы, поэтому применяются при очистке растворов от примесей, а также в медицине для выделения радионуклидов высокой чистоты [3] и других областях.

1. Реутов В. Ф., Дмитриев С. Н. «Ионно-трековая нанотехнология» // Российский химический журнал, 2002, Т. 46, № 5, С. 74-80.
2. Мулдер М. Введение в мембранную технологию: Пер. с англ. – М.: Мир, 1999. –513с.
3. Болдырев П.П. и др. Электрохимический способ получения радионуклида Lu-177 высокой удельной активности // Вестн. Моск. Ун-та. Сер 2. Химия, 2016, т.57, № 3, с. 184-190.

РАЗДЕЛЕНИЕ НУКЛИДОВ ^{177}Lu и Yb МЕТОДОМ ЦЕМЕНТАЦИИ

Ушаков И.А, Масленников Ю.С., Лоскутников В.П.

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

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

E-mail: mamay2008@bk.ru

Современная диагностика и выявление злокачественных новообразований на ранней стадии их развития остается одной из актуальнейших проблем современной медицины. Методика лечения опухолей костных тканей и внутренних органов радиофармацевтическими препаратами на основе радионуклида лютеций-177 являются одной из последних разработок в области ядерной медицины. В отличие от других, данная методика отличается минимальным токсикологическим действием на организм пациента. Радиационное воздействие лютеция-177 реализуется за счет относительно мягкого бета-излучения (максимальная энергия – 0,497 МэВ) и электронной конверсией.

Цементация основана на контакте амальгам щелочных металлов и ацетатных, цитратных и др. соединений редкоземельных металлов с механическим или газовым перемешиванием. Происходит восстановление иттербия до двухвалентного состояния и далее до металла с образованием амальгамы иттербия.

Опыты проводились на модельных растворах, содержащих радиоактивные метки. Масса иттербия составляла 10,8 мг. Отношение разделяемых ^{177}Lu и Yb составляло 1:39000. На рис. 1 представлена гамма-спектрограмма аликвоты исходной пробы, содержащей радиоактивные метки ^{177}Lu и ^{169}Yb полученной на гамма-спектрометре многоканальном фирмы CANBERRA с полупроводниковым блоком детектирования GS2018. Время одной цементации составило 2 минуты. Объем амальгамы натрия составлял 5 мл на одну цементацию. За 5 цементации удалось снизить содержание иттербия до 0,01% от исходного содержания. Для корректировки pH во время цементации добавлялась 6М HCl.

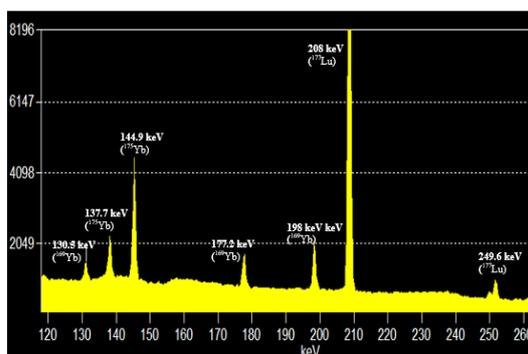


Рис. 1 Гамма-спектр аликвоты исходной пробы

Очистка от ртути осуществлялась через колонку Lewatit MonoPlus TP 214 со средним размером зерна 0,55мм. Содержание ртути в пробе до очистки на колонке составляло 300мкг, после колонки: 458нг.

Авторы благодарят за дискуссии и советы по работе В.В. Зукау, Д.В. Кабанова, В.Г. Меркулова, Е.В. Чибисова.

ПАРАМЕТРЫ Q-КАСКАДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКООБОГАЩЕННОГО СЕЛЕНА-74

Шинкевич Р.А.

АО «Сибирский химический комбинат», 636039, г. Северск, Томской
области, ул. Курчатова, дом 1
E-mail: ShinkevichRA@yandex.ru

В работе проведен расчет параметров Q-каскада для получения высокообогащенного ^{74}Se и исследование зависимостей: разделительной способности δU , потоков отбора легкой и тяжелой фракций каскада от коэффициента деления потока; изменения профиля каскада и концентрации целевого изотопа ^{74}Se по ступеням каскада от удельного коэффициента обогащения.

В результате расчёта получен профиль Q-каскада и зависимость распределения концентрации изотопов селена по его ступеням. Рассчитаны зависимости: разделительной способности δU , потоков отбора легкой и тяжелой фракций каскада от коэффициента деления потока; изменения профиля каскада и концентрации целевого изотопа ^{74}Se по ступеням каскада от удельного коэффициента обогащения; изменения профиля каскада от потока основного питания.

В результате исследования установлено, что заданного обогащения (более 98% по ^{74}Se) можно достигнуть за один этап разделения. Распределение изотопов селена по ступеням каскада происходит в соответствии с их массовыми числами. Наименьшее изменение концентрации изотопов селена имеет место вблизи ступени подачи потока питания, наибольшее – на концевых ступенях каскада.

Показано, что при $\theta = 0,5$ наблюдается максимальная разделительная способность, с увеличением θ поток отбора легкой фракции каскада линейно увеличивается, а поток отбора тяжелой фракции каскада линейно уменьшается.

Установлено, что с увеличением удельного коэффициента обогащения, количество ступеней каскада, необходимое для достижения заданной концентрации, уменьшается, ступень подачи питания смещается к отвалльному концу каскада, поток питания каскада также уменьшается.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

Сычева А.А.

Научный руководитель: Дорофеева Л.И., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aaa72@tpu.ru

Задачи переработки технологических растворов с целью селективного извлечения ценных компонентов, обезвреживания жидких радиоактивных отходов, регенерации отработанных дезактивирующих растворов актуальны и востребованы на сегодняшний день во многих отраслях промышленного производства.

Обработка с использованием химических реагентов промывных растворов, возвращающихся с циклов дезактивации деталей и узлов оборудования, а также концентрированных обезжиривающих растворов, как правило, не позволяет достичь требуемых показателей, особенно по тяжелым металлам и органике. В этом случае, применяют ионообменные и электромембранные технологии очистки, позволяющие организовывать замкнутые процессы с одновременным извлечением из технологических сред растворенных ценных компонентов.

Как правило, технология очистки включает в себя несколько стадий, включающих предварительную подготовку с корректировкой pH среды, улавливания взвешенных примесей и органических компонентов, а также дальнейшую глубокую очистку методами ионного обмена, электромембранными технологиями с использованием селективного мембранного материала.

Сернокислые растворы, возвращающиеся со стадии отмывки деталей и узлов оборудования, пропускаются через стадию очистительного модуля и на выходе поступают на оперативный контроль сходимости и контроль погрешности [1] с использованием метода кратного изменения измеряемого параметра в пробе (варьирование аликвотой пробы). За окончательный результат измерений массовой концентрации серной кислоты в пробе принимают среднее арифметическое значение результатов, удовлетворяющих условию сходимости:

$$d_{отн} = 2,77 * \sigma_{сх}(\delta),$$

где $\sigma_{сх}(\delta)$ – значение характеристики сходимости относительно измеряемых массовых концентраций серной кислоты в соответствии с табличными данными; 2,77 – значение квантиля распределения размахов при числе параллельных определений $n = 2$.

Проведенные результаты замеров массовой концентрации регенерированной серной кислоты и наличие примесей органики находятся в допустимом диапазоне и показывают возможность повторного технологического использования растворов в замкнутом цикле.

1. ОСТ 95 10289-2005. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Внутренний контроль.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБМЕННОГО ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОТИВОТОЧНЫХ СИСТЕМАХ

Головков Н.И.

АО "УМЗ", РК, 070005, г. Усть-Каменогорск, проспект Абая, 102

E-mail: golniigo@gmail.com

Сорбция на твердофазных ионообменниках широко применяется при извлечении ценных компонентов из технологических растворов и востребована во многих отраслях промышленности, где требуется переработка оборотных растворов с целью очистки и извлечения урана, золота и остальных ценных компонентов. Обменные сорбционные процессы, протекающие в двухфазных системах, как правило, позволяют селективно сорбировать ионы из растворов различного происхождения, а также концентрировать изотопы щелочных, щелочноземельных элементов и другие. Противоточные обменные процессы, протекающие в установках колонного типа с использованием селективных ионообменников, значительно увеличивают эффективность процесса изотопного обогащения и требуют комплексного подхода к разработке узлов обращения фаз [1, 2] для создания непрерывных многостадийных процессов.

К основным характеристикам процессов изотопного обмена относятся такие параметры процесса, как высота эквивалентной теоретической ступени, количество ступеней разделения на одной колонне, что в свою очередь определяет общую степень разделения на устройстве. При определении высоты эквивалентной теоретической ступени необходимо учитывать величину внутренней диффузии в фазе ионообменника с учетом скорости перемещения твердой фазы по колонне, а также коэффициенты диффузии [3] в жидкой фазе, радиус зерна ионообменного материала с учётом скорости подачи жидкой фазы в колонну, при этом, общее количество катионов, приходящихся на раствор, учитывается при определении продольной диффузии в колонне и коэффициента продольного перемешивания по высоте колонны. Режим работы колонны зависит от многих факторов, таких как, направление взаимного движения фаз, способ подвода электроэнергии, гидродинамика, состояние слоя ионита и конструкционный тип установки. В противоточных системах со встречным движением фаз при разделении изотопов щелочных элементов оптимальная величина степени разделения находится в диапазоне от 1,07 до 1,1 в зависимости от высоты ионообменного слоя и типа ионообменника.

1. Разделение изотопов и ионов с близкими свойствами в обменных процессах с электрохимическим обращением потока фаз // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] – 2003. – Т. 306, № 3. – С. 66-70
2. Дорофеева Л. И., Басс В. И. Моделирование процесса электрохимического обращения потоков фаз при изотопном обмене // Изотопы: технологии, материалы и применение – Томск: ТПУ, 2020. – С. 88.
3. Dorofeeva L.I., Kuan N. A. Modeling of sorption processes on solid-phase ion-exchangers // AIP Conference Proceedings, 2018. – P. 020021. – DOI 10.1063/1.5027228

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА ИММОБИЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Головков Н.И.

"АО "УМЗ", РК, 070005, г. Усть-Каменогорск, проспект Абая, 102

E-mail: golniigo@gmail.com

В связи с активно растущей областью использования радиоактивных изотопов в науке, медицине и промышленности возрастают объёмы отходов, содержащих радиоактивные компоненты, которые необходимо перерабатывать с целью извлечения и дальнейшего использования ценных компонентов или надежно изолировать от окружающей среды. Значительное сокращение имеющихся объёмов различных видов жидких радиоактивных отходов в настоящее время является одной из актуальных проблем [1], требующих развития имеющихся технологий переработки с целью отверждения, безопасной изоляции и последующего хранения.

Методы переработки жидких радиоактивных отходов различаются в зависимости от физико-химических свойств, исходных концентраций и периодов полураспада радионуклидов [2]. При этом этапы переработки связаны с предварительной обработкой, обработкой, пакетированием и последующим хранением. Основные технологии для жидких радиоактивных отходов средней и низкой активности связаны с сорбцией на твердом ионообменном материале, электрохимическим окислением в жидкой фазе, иммобилизацией в твердую матрицу и другими методами [1, 3].

Перспективным направлением работ в этой области является надежное фиксирование жидких отходов в керамической матрице [4] с учетом распределения радионуклидов в материале матрицы, оценки прочности компаундов, скорости выщелачивания радиоактивных компонентов. Проведенные исследования показывают, что скорость выщелачивания по цезию-137 составляет не более 10^{-4} г/см² в сутки с учетом продолжительности проведенных измерений, что соответствует требованиям нормативов и доказывает, что метод отверждения жидких радиоактивных отходов путем включения в керамическую матрицу является перспективным с точки зрения его дальнейшего использования.

1. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами. - Вена: МАГАТЭ, 2005 – 221 с.
2. Похитонов Ю.А. Перспективы использования полимерных материалов для переработки жидких радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы, № 3 (8), 2019 г. – с. 53 – 60. – DOI: 10.25283/2587-9707-2019-3-53-60
3. L. Dorofeeva, D. Orekhov. Research of ceramic matrix for a safe immobilization of radioactive sludge waste // AIP Conference Proceedings, 2018. – P. 020011. – DOI 10.1063/1.5027218.
4. Моделирование процессов разделения в обменных двухфазных системах / Л. И. Дорофеева // ОБЩЕСТВО – НАУКА – ИННОВАЦИИ: сборник статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 22 декабря 2019 г.: в 2 ч. – 2019. – Ч. 2. – [С. 11-13]

METHODS FOR MEASURING BORIC ACID CONCENTRATION

Umar Mustapha Adam

Nigeria Atomic Energy Commissioner, Abuja

E-mail: sumeemy02@gmail.com

Boron due to its large neutron absorption cross section is widely used in nuclear reactors to control reactivity, the reactivity control is accomplished in part by varying the concentration of boric acid dissolved in the coolant. In other words, it is vital to maintain the boric acid concentration uniformly distribution in the primary cycle. Otherwise, if the low-borated water is injected into the reactor core, it will result in a reactivity excursion. Non uniform distribution of boron concentration in the reactor would result to reactivity accidents or difficulty of accurate implementation of effective reactor control system which includes reactor core power threatening reactor safety operation.

During the past decades, a number of theoretical and experimental studies have been carried out paying more attention in boron dilution accidents in nuclear reactors. Because it is difficult to measure boron concentration in the process of transient by means of experiment, numerical simulation is adopted to study these phenomena. In this paper, the current research status of methods for measuring boron concentration is summarized and the challenges are identified. This paper would contribute to a better understanding of the different boric acid measuring techniques and provide future work guidance for researchers.

DECOMMISSIONING OF NUCLEAR FACILITIES; FACTORS, LIABILITIES & FUTURE CHALLENGES

Godwin Ini

Nigeria atomic energy commission, Abuja

E-mail: inigodwin7777@gmail.com

Decommissioning is the process whereby a nuclear facility, at the end of its economic life, is taken permanently out of service and its site made available for other purposes. Liabilities are the costs involved in decommissioning which includes; the processing, long term management, storage and final disposal of waste materials and spent fuel and the environmental remediation of nuclear sites (Managing the Nuclear Legacy, 2002).

Exploitation of nuclear technologies has left a legacy that needs to be addressed. Nuclear facilities needs to be dealt with, so that any contamination contained within may be disposed of without it becoming a danger to the public.

However, there are challenge which cannot be overemphasized, these are, many different sites, fuel production, reactor site, reprocessing site, waste disposal, wide geographical spread, total estimated cost of decommissioning and clean up approximately. Despites, these numerous challenges, there are a number of drivers for decommissioning. These drivers includes; management of safety and hazards, radiological, chemical, conventional, environmental, intergenerational equity, desire to discharge the liabilities, financial considerations and potential re-use of the site.

Decommissioning is characterized with some large scale capital projects which are inherent challenges these are, complex with many technical challenges, strategies and plans exist for all the nuclear facility. The future challenges are mainly to accelerate, reduce cost and find lasting solutions to unique technical challenges.

РАСЧЁТ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТУРБОХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЕ

Губанов С.М., Кулешов Д.А.

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

E-mail: Sgubanov@yandex.ru

Приводится расчётный анализ работы испарителя и конденсатора турбохолодильной машины. Учитываются конструктивные особенности испарителя и конденсатора. Определяется предел тепловой мощности испарителя, зависимость расхода рабочего тела в испарителе от давления кипения фреона. Приводится методика расчёта процессов теплообмена в испарителе и конденсаторе. Учитывается увеличение температуры газообразного фреона на выходе из компрессора за счёт работы сжатия, переохлаждение жидкого хладона в конденсаторе.

Проводится термодинамический расчёт турбохолодильной машины для оценки влияния процесса адиабатического сжатия фреона от параметров состояния в испарителе до параметров состояния, соответствующих конденсатору. В расчётах учитывается диссипация энергии при сжатии паров фреона компрессором.

Проводится расчёт теплоотдачи при конденсации фреона на теплообменной поверхности и определяется массовая скорость конденсации. При конденсации на пучках горизонтальных трубок вводится поправка на величину коэффициента теплоотдачи, связанную с накоплением плёнки конденсата. Проведены расчёты зависимости массовой скорости конденсации фреона в конденсаторе холодильной машины в зависимости от разности температуры. Учитывается влияние заиливания внутренней поверхности трубок конденсатора при использовании речной воды. Проанализирована зависимость энергозатрат на привод компрессора и давления конденсации.

Выполненные расчёты показали, что теплообменные аппараты машин ХТМФ-248-4000-1 при использовании фреона со стандартными физическими свойствами способны при нормальных параметрах ($P_{\text{испар.}} = 3,33 \times 10^5$ Па, $T_{\text{ф.}} = 275$ К) работать с холодопроизводительностью до 5,3 Гкал/час, что подтверждено практическими измерениями при эксплуатации после технического перевооружения турбохолодильного оборудования.

ОЦЕНКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОТРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

Головков Н.И

"Ульбинский металлургический завод "АО "УМЗ", РК, 070005,
г. Усть-Каменогорск, проспект Абая, 102
E-mail: golniigo@gmail.com

Селективное извлечение компонентов из отработанных растворов, поступающих с технологических циклов, актуальное направление, востребованное многими отраслями промышленности. Наибольший интерес представляют электрохимические методы очистки растворов [1], которые позволяют организовывать замкнутые непрерывные циклы переработки и возврата оборотных растворов в технологический процесс. Наряду с очисткой растворов от примесей, растворённых компонентов, селективное извлечение ценных компонентов растворов позволяет на выходе получать не только очищенные растворы и шламы, готовые к последующей переработке [2], но и обогащенные по извлекаемым металлам продукты переработки исходного сырья. Комплексные процессы, позволяющие на стадиях сорбции селективно извлекать металлы из исходного сырья с последующей регенерацией ионообменного материала на стадии электродиализа, применяются как для извлечения ионов, так для изотопного обогащения [3].

Оценка кинетических параметров транспорта ионов при замещении ионных и изотопных форм [4, 5] в процессах электродиализа показывает, что наибольшее влияние на процесс, оказывают такие параметры, как отношение подвижностей, рН среды, ёмкость ионообменника, доля переносимого иона и плотность тока на аппарате. При этом, процесс извлечения, можно осуществлять как в статическом, так и динамическом режимах подачи исходного раствора. Эффективное удержание ионов твердофазным селективным ионообменником в рабочей камере электродиализатора при их последующем перемещении в катодное отделение аппарата не требует затрат на регенерацию и позволяет уменьшить исходную концентрацию ионов до уровня в 0,003 мг/л.

1. Яковлев С.В., Краснобородько И.Г., Рогов Н.М. Технология электрохимической обработки воды. // Л.: Стройиздат, 1987. – 455с.
2. L. Dorofeeva, D. Orekhov. Research of ceramic matrix for a safe immobilization of radioactive sludge waste// AIP Conference Proceedings, 2018– P. 020011. – DOI 10.1063/1.5027218.
3. Разделение изотопов и ионов с близкими свойствами в обменных процессах с электрохимическим обращением потока фаз // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] – 2003. – Т. 306, № 3. – С. 66-70
4. Vergun A. Electroionite processes modeling of isotopes separation // AIP Conference Proceedings, American Institute of Physics Inc., 2019. – P. 020015. – DOI 10.1063/1.5099607.
5. Дорофеева Л. И., Басс В. И. Моделирование процесса электрохимического обращения потоков фаз при изотопном обмене // Изотопы: технологии, материалы и применение: Сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 88.

**ИЗОБРЕТАТЕЛЬ И ГЛАВНЫЙ КОНСТРУКТОР ГАЗОВЫХ
ЦЕНТРИФУГ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ. К 100-ЛЕТИЮ СО
ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.И. СЕРГЕЕВА**

Скорынин Г.М.

663690, г. Зеленогорск Красноярского края, пр. Мира, 19

E-mail: genskor@mail.com

К настоящему времени в мире полтора десятка стран в той или иной степени освоили технологии обогащения урана. Сегодня практически все действующие на планете обогатительные установки используют современные газовые центрифуги, «генетический код» которых был заложен в 1950-е годы в технических решениях, предложенных советскими конструкторами. Однако, по ряду причин имена отечественных изобретателей, создавших центрифужную технологию разделения изотопов, до сих пор остаются в тени. За рубежом современные газовые центрифуги называют «центрифугами типа Циппе» по имени австрийского инженера Гернота Циппе, который после войны участвовал совместно с советскими специалистами в разработках центрифуг и, после репатриации, сумел воспроизвести конструкцию центрифуги, рожденную в СССР.

Ключевую роль в создании конструкций современных газовых центрифуг сыграл Виктор Иванович Сергеев, изобретения которого произвели революционный переворот в центробежной технологии разделения изотопов, позволили полностью вытеснить энергоемкую газодиффузионную технологию обогащения урана. В докладе представлена краткая биография Героя Социалистического труда, лауреата Ленинской премии, Заслуженного изобретателя РСФСР, доктора технических наук В.И. Сергеева и дано описание основных технических решений, предложенных им с коллегами в конструкции газовых центрифуг.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РЕБЕР ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОГРУЖНОЙ ЕМКОСТИ НА ЕЕ СРЕДНЮЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Шинкевич Р.А.

АО «Сибирский химический комбинат», 636039, г. Северск, Томской области, ул. Курчатова, дом 1
E-mail: ShinkevichRA@yandex.ru

Процесс десублимации UF_6 является неотъемлемой частью газофазных технологий обогащения урана.

В работе рассмотрены особенности данного процесса на разделительных предприятиях отрасли, физико-химические свойства UF_6 , HF и других примесей.

Объектом исследования являлась вертикальная погружная емкость с горизонтальным ребрением объемом $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$.

Цель работы являлось проведение исследований по изучению влияния размеров и расположения горизонтальных ребер вертикальной погружной емкости на динамику её заполнения десублимированным UF_6 .

В процессе исследования проводились расчеты динамики заполнения емкости объемом $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ с горизонтальным ребрением десублимированным UF_6 , сделана оценка влияния количества и толщины горизонтальных ребер, а также расстояния между ними на среднюю производительность данной емкости.

Показано, что при уменьшении толщины горизонтального ребра с $7,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^{-3}$ м средняя производительность емкости увеличивается с $4,505 \cdot 10^{-3}$ до $4,866 \cdot 10^{-3}$ кг/с (на 8%), то есть чуть больше 1% на $1,0 \cdot 10^{-3}$ м толщины ребра. Средняя производительность емкости не зависит от расстояния между горизонтальными ребрами в интервале от $0,5 \cdot 10^{-2}$ до $5,0 \cdot 10^{-2}$ м и составляет $4,806 \cdot 10^{-3}$ кг/с. При увеличении числа ребер с 2 до 9 шт. степень заполнения емкости не достигает заданного значения (70%) из-за «перемерзания» центрального отверстия верхнего ребра. Увеличение количества ребер с 10 до 19 шт. приводит к увеличению средней производительности емкости с $3,228 \cdot 10^{-3}$ кг/с до $5,885 \cdot 10^{-3}$ кг/с (на 80%) за счет увеличения теплообменной поверхности ребер на 55% и уменьшению времени ее заполнения до заданной степени в 1,8 раз. Увеличение количества ребер с 13 шт. в стандартной емкости до 19 шт. приводит к увеличению ее средней производительности на 21,4%.

В будущем планируется продолжить исследования и оптимизировать этот технологический процесс непосредственно на разделительных предприятиях.

Секция 2

ЛАЗЕРНЫЕ И МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ

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

ПРОБЛЕМА СВЕРХТОННОЙ СТРУКТУРЫ УРОВНЯ АТОМА В AVLIS МЕТОДЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ

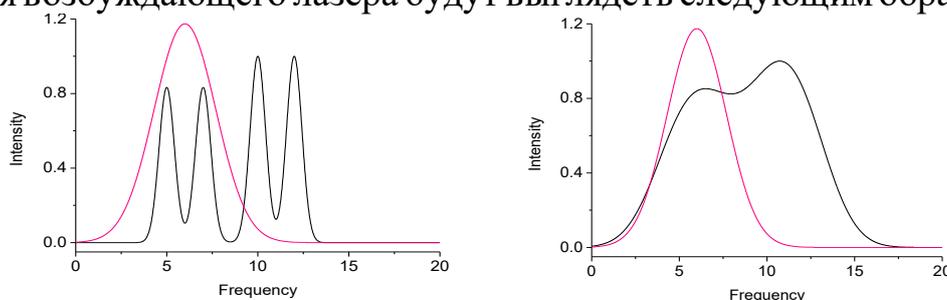
Wang Lijun

Tsinghua University, Beijing, China
E-mail: ljwang@mail.tsinghua.edu.cn

В связи с разработкой новых типов лазеров и увеличением их эффективности вновь возникает интерес к лазерным методам разделения изотопов. Для лазерного разделения необходимо проанализировать особенности возбуждения и релаксации атома.

Рассмотрим простую модель атома с одним основным и одним возбужденным уровнями, каждый из которых имеет сверхтонкую структуру с двумя подуровнями. Между основным и возбужденным уровнями имеются четыре перехода, связанные с возбуждением и релаксацией. Для невозбужденного атома в основном заселены нижние подуровни. В спектре поглощения или излучения будут регистрироваться четыре линии.

При сильном уширении спектральных линий спектр может выглядеть как широкая линия сложной формы. При возбуждении и дальнейшей ионизации атомов, заселенных на двух нижних уровнях, достаточны переходы на один из верхних подуровней. В случае настройки на нижний уровень сверхтонкой структуры возбужденного состояния спектры поглощения атома и линия возбуждающего лазера будут выглядеть следующим образом.



без уширения уширенные линии атомных переходов

При возбуждении и ионизации атома, находящегося на 2 невозбужденных уровнях, через верхний подуровень возбужденного состояния, лазерную линию необходимо перестроить на правый дуплет. В научной литературе и учебниках, как правило, рекомендуют ширину лазерной линии выбирать равной суммарной ширине всех четырех уширенных линии атома.

Кроме того, в случае АВЛИС, всегда имеется место так называемое спектральное уширение мощностью. Это явление позволяет нам использовать лазер со спектром, более узким, чем приведено на рисунке выше.

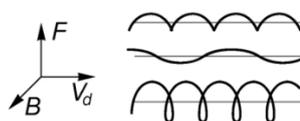
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ УГЛЕРОДА ИЗ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Шикерун К.Т.

ООО «Русатом-Аддитивные Технологии» Москва, Каширское ш. 49, стр. 61
E-mail: gos100@tpu.ru

В настоящее время, связи с переходом к водородной энергетике, активизируются исследования по разработке технологий получения молекулярного водорода. В технологии плазменного получения водорода из углеводородов существует проблема формирования прочной углеродной пленки на поверхности сопел. Это приводит к изменению времени закалки. Это обуславливает актуальность изучения процессов осаждения углерода, а также разработки методов по уменьшению возможности взаимодействия углеродных частиц со стенками. В докладе обсуждаются результаты экспериментальных исследований по формированию углеродных пленок на стенках при охлаждении паров углерода. Для перевода углерода в газообразное состояние и исследования процессов при охлаждении плазменных потоков, используется газоразрядная плазма, например, дуговой разряд. Дуговой разряд позволяет нагревать плазмообразующий газ до температур, при которой испаряются все вещества. При изготовлении электродов из графита можно формировать высокую концентрацию паров углерода в газовой фазе.

Для управления процессом формирования углеродных частиц в газовой фазе и осаждения углеродных пленок используется внешнее слабое постоянное магнитное поле. Известно, что в плазменном потоке содержатся положительные ионы, свободные электроны и нейтральные частицы. В постоянном магнитном поле наблюдается дрейф заряженных частиц. На рисунке приведены формы возможных траекторий для некоторых случаев направления начальной скорости поперечного движения частицы в постоянном магнитном поле.



Однако, степень ионизации частиц в низкотемпературной плазме невелика. При охлаждении низкотемпературной плазмы степень ионизации уменьшается, что приводит к уменьшению роли ионизованных частиц в плазменных процессах. Поэтому для моделирования процесса фазового перехода на поверхности стенок и в газовой фазе (поверхности дисперсных частиц) учитывали лишь парамагнитные явления.

Для диагностики параметров дисперсных частиц используются контактные и неконтактные методы. Гранулометрический состав частиц в различных точках вдоль оси плазменного потока определяли неконтактными лазерными методами. Параметры пленок на стенке изучали с помощью электронной микроскопии и рентгеновской дифракции.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ВТОРИЧНЫХ ИОНОВ: АНАЛИЗ ОБРАЗЦОВ ГОРОДСКОГО АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ, СОБРАННЫХ ЛЕТОМ 2021 ГОДА

Киселев С.С., Щелканов А.А., Гуляев Е.А.

Научный руководитель: Гадельшин В.М.

Уральский федеральный университет 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

E-mail: avtofan96rus@gmail.com

Атмосферный аэрозоль (АА) представляет собой взвешенные в атмосфере твердые и жидкие частицы размером от долей до десятков микрон. АА может иметь как естественное, так и искусственное происхождение. Серьезное влияние на здоровье человека могут оказать определённые химические соединения, образующие АА, к примеру тяжёлые металлы. Поэтому анализ химического состава аэрозольных микрочастиц является одним из основных направлений исследования окружающей среды [1].

Одним из методов анализа таких микрочастиц является масс-спектрометрия вторичных ионов. Первичный пучок ускоренных ионов направляется на поверхность исследуемого твёрдого образца и выбивает с неё атомы и/или молекулы [2]. Выбитые таким образом частицы могут быть случайным образом ионизированы, формируя вторичные ионы, которые и направляются в масс-анализатор. Такая методика исследования позволяет изучать собранные образцы АА даже без предварительной пробоподготовки с высоким пространственным разрешением до 10 нм; в комбинации с время-пролётным масс-спектрометром достигается и очень высокая разрешающая способность по массе.

Для решения задачи определения химического состава АА создаётся программный комплекс, включающий в себя инструменты для анализа масс-спектрометрических данных и базу химических соединений. Анализ масс-спектра проходит в несколько этапов: считывание данных, идентификация пиков на спектре, определение их характеристик, вывод итоговой отчётности. Из-за разнообразия природного изотопного состава многих химических элементов, веществу на масс-спектре могут соответствовать сразу несколько пиков масс. Поэтому важно при идентификации веществ рассматривать целый ряд пиков, которые они могут образовывать. В докладе рассмотрена методика пробоотбора и масс-спектрометрического анализа АА, а также приведены предварительные результаты обработки масс-спектров образцов АА, отобранных в г. Екатеринбург летом 2021 года.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50138.

1. Кондратьев К.Я., Поздняков Д.В. Аэрозольные модели атмосферы // Издательство «Наука», Москва 1981 // С.5-7.
2. Мельников В.Н. и др. Масс-спектрометрия вторичных ионов органических материалов с использованием глицериновой матрицы // Журнал физической химии, 83 (6), 2009. – стр. 1115-1120.

ОТБОР НАНОПОРОШКА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ПРОБОЕ МИШЕНИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Ижойкин Д.А.¹, Лукин А.В.², Хорохорин Д.М.³

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

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, пл. Соляная, 2

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

³ФГУП «ГХК», Железногорск, ул. Ленина, 53

E-mail: avl48@tpu.ru

Лазерные технологии широко распространены: резка и пайка, фотохимические процессы, термическая обработка поверхности. Как правило, лазерное воздействие приводит к испарению и формированию аэрозольного облака. Формирующееся аэрозольное облако может экранировать воздействующий лазерный луч. При этом уменьшается эффективность использования лазерного излучения. Оценки показывают, что коэффициент прохождения лазерного через аэрозоль возможно путем формирования заданного распределения по размерам.

Задача исследований – поиск методов повышения эффективности лазерного воздействия на мишень.

Нами экспериментально показано, что при конденсации из плазменного потока дугового разряда в магнитном поле минимальный размер наночастиц Zn изменяется с 40 нм (0 мТл) до 10 нм (44-76 мТл). Максимум моды смещается с 150 нм до 190 нм при увеличении величины поля от нуля до 76 мТл. При конденсации паров Си в магнитном поле 30 мТл сужается функция распределения по размерам образующихся дисперсных частиц, относительно его значения без магнитного поля. Постоянное магнитное поле увеличивает скорость формирования ядер конденсации и скорость роста размеров дисперсных частиц.

Получены наночастицы С, SiO₂, ZrO₂, Al₂O₃ путем испарения оксидов с помощью лазерного излучения в магнитном поле, задаваемом в диапазоне 1 - 200 мТл. В докладе обсуждаются новые данные экспериментальных исследований по формированию аэрозолей из лазерной плазмы в постоянном магнитном поле 1-200 мТл.

Количество нанопорошка, образующегося при лазерном пробое с помощью одного импульса невелико. При этом отбор на электрофилтры образующихся наночастиц становится неэффективным. Поэтому сбор дисперсной фазы затруднен. Нами апробирован закрытый микробокс с окном для ввода излучения, в котором располагается мишень. При этом весь образующийся порошок оседает на стенках и легко может быть смыт с помощью растворителя и концентрирован для гранулометрического анализа.

Получены закономерности зависимости распределения размеров наночастиц от величины постоянного магнитного поля менее 200 мТл.

1. Зельдович Я.Б., Бучаченко Ф.Л., Франкевич Е.Л. // УФН 155(1) 3-45 (1988).

ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОМ ПОЛЕ НА ПРИЭЛЕКТРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ И ЭЛЕКТРОДИАЛИЗЕ

Оспанова Ш.С.¹, Рахимжанова Л.А.²

¹ КазНУ имени Аль-Фараби, РК, г. Алматы, пр. Аль-Фараби 71

² КазАТУ им. С. Сейфуллина, РК, г. Нур-Султан, пр. Женис 62

E-mail: laura-rahimjan@mail.ru

Электрохимические процессы широко используется в различных технологиях. Например, для нанесения декоративных и защитных покрытий, получения алюминия используется электролиз. Для концентрирования слабых растворов и получения очищенной воды используется электродиализ.

Электролиз и электродиализ требует значительных затрат электроэнергии. Поэтому поиск методов уменьшения энергопотребления указанных процессов является актуальным. Цель исследования: поиск метода увеличения эффективности электролиза и электродиализа.

Влиянию магнитного поля на структуру воды и водных систем посвящено множество работ [1-4]. Например, магнитное поле влияет на образование и распад кластеров молекул воды, растворимость солей жесткости.

При электролизе в водном растворе хлорида натрия установлено, что выделение газов на катоде, находящемся в магнитном поле, больше, чем без поля. В качестве электродов использовали стальные, медные и алюминиевые стержни диаметром 3 мм. Расстояние между электродами по раствору составляло 35 см.

Установлено, что электрический ток через электродиализную ячейку до 15% больше в магнитном поле, ориентированном перпендикулярно направлению электрического поля.

В докладе обсуждаются результаты исследования приэлектродных процессов в электролизной и электродиализной ячейках. Установлено, что магнитное поле приводит интенсивному перемешиванию раствора между электродами. Показано, что постоянное магнитное поле противодействует процессу поляризации электролита в приэлектродных областях.

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.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Рахимжанова Л.А.¹, Оспанова Ш.С.²

¹ КазАТУ им. С. Сейфуллина, РК, г. Нур-Султан, пр. Женис 62

² КазНУ имени Аль-Фараби, РК, г. Алматы, пр. Аль-Фараби 71

E-mail: laura-rahimjan@mail.ru

Открытие спиновой селективности жидкофазных химических реакций в постоянном магнитном поле [1] показало фундаментальную роль магнитных взаимодействий. Магнитный изотопный эффект (МИЭ), наблюдаемый в указанных химических реакциях, индуцируются постоянным магнитным полем и связан со спиновой селективностью реакций между радикалами в магнитном поле [2, 3]. Появление МИЭ химических реакций связано с действием «клетки», обуславливающей длительный контакт между собой двух радикалов. Наличие в химически активном центре радикала атома с ядром, имеющем спин, обуславливает большую скорость химической реакции.

В докладе обсуждается модель физико-химических процессов, протекающих при нуклеации паров SiO_2 , Al_2O_3 природного изотопного состава из низкотемпературной плазмы, находящейся в постоянном магнитном поле менее 0,2 Тл. В работе сформулированы основные закономерности зависимости размеров наночастиц, проявляющиеся при формировании конденсированной фазы, от распределения в объеме плазменного потока скорости и температуры. При этом в каждой точке потока необходимо оптимизировать величину постоянного магнитного поля.

Процесс роста наночастиц связан с адсорбцией атомов из газовой фазы на их поверхности конденсированной фазы. При этом сорбированный атом может испариться, если за время его сорбированного состояния в одном из потенциальных ям на поверхности не образуется химическая связь. Ростом дисперсных частиц можно управлять изменением времени триплет-синглетной конверсии спиновых пар, сформированных сорбированным атомом и атомом на поверхности конденсированной фазы.

Известно, что при постоянном значении одной из проекций спина на прямоугольную систему координат дисперсии двух других проекций связаны соотношением неопределенности [4]. При моделировании формирования синглетного состояния неспаренных спинов учитывали соотношение неопределенности для фазы прецессии спина в магнитного поля [5].

1. Зельдович Я.Б., Бучаченко Ф.Л., Франкевич Е.Л. // УФН 155(1) 3-45 (1988).
2. Turro N.J. / Proceed. NAS of USA, 80(2) 609-662 (1983).
3. Gould I.R., Turro N.J. and Zimmt M.B. // Advances in Physical Organic Chemistry, 20 1-53 (1984).
4. David H. McIntyre Spin and Quantum Measurement, Oregon State University. – 77 p.
5. Myshkin V.F. et al. // IOP Conf. Series, 135 (2016) 012029 doi:10.1088/1757-899X/135/1/012029.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ ПЛАЗМЫ

Рахимжанова Л.А.¹, Оспанова Ш.С.²

¹ КазАТУ им. С. Сейфуллина, РК, г. Нур-Султан, пр. Женис 62

² КазНУ имени Аль-Фараби, РК, г. Алматы, пр. Аль-Фараби 71

E-mail: laura-rahimjan@mail.ru

Зачастую в природных и технологических процессах формируются аэрозольные системы. Появление аэрозольных частиц может оказать существенное влияние на химические превращения, тепловой эффект, теплообмен внутри системы и с окружающей средой, электрофизические явления в низкотемпературной плазме, процессы разделения изотопов в газовой среде. Поэтому актуальна разработка безотборных методов определения функции распределения по размерам дисперсных частиц.

Преимущества лазерных методов диагностики связаны с малыми искажениями процессов, например, протекающих в потоке плазмы. Однако как правило, лазерные методы приводят к решению обратной задачи, приводящей при большой экспериментальной погрешности к значительному увеличению неопределенности получаемых данных. В литературе имеются компьютерные коды для решения обратных задач.

Для лазерной диагностики наночастиц пригоден метод спектральной прозрачности, в котором определяют изменение спектра излучения, прошедшего аэрозоль. Современная спектральная аппаратура позволяет регистрировать спектр в широком диапазоне. Однако, даже небольшое увеличение объема обрабатываемых данных приводит к значительному увеличению времени расчета. Поэтому формировали несколько пересекающихся выборок из экспериментальных данных и решали с этими выборками обратную задачу по известным алгоритмам.

Экспериментально регистрировали спектры пропускания плазменного потока, содержащего наночастицы. Формировали до 15 групп по 7-8 значениям коэффициентов пропускания на разных длинах волн. В каждую группу входило значение коэффициента пропускания в экстремуме спектра. Эти группы обрабатывали последовательно с учетом предыдущих решений. В соответствии с используемым алгоритмом выделяли решения, модальные радиусы которых объединяются в компактную группу.

В докладе анализируются результаты исследования влияния постоянного магнитного поля на процесс формирования частиц сажи при охлаждении низкотемпературной Ag-C плазмы. Низкотемпературная плазма возбуждалась с помощью дугового разряда с графитовыми электродами.

Анализ полученных результатов показывает следующее. В постоянном магнитном поле менее 0,2 Тл наблюдается сужение функции распределения по размерам и уменьшение модального размера ансамбля частиц сажи. При этом гранулометрический состав более стабилен во времени.

ДИФФУЗИЯ КАТИОНОВ В ДВОЙНОЙ СЛОЕ МИНЕРАЛА ГЛИНА

Ван Цайлунь, Шукшина Д.Д.

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

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

E-mail: caylun1224@gmail.com

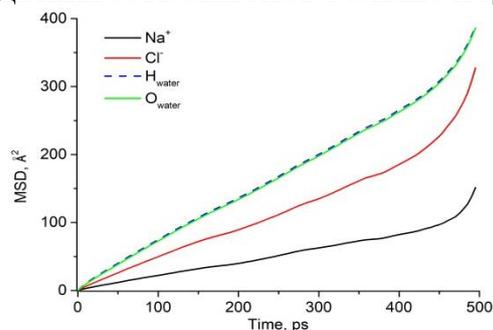
Адсорбция гидратированных ионов металлов на поверхности минералов глины обычно контролирует их распределение в природных и технологических средах. В частности, чрезвычайно низкая проницаемость природных глинистых образований делает их потенциальным носителем для долгосрочного геологического захоронения токсичных или радиоактивных отходов, хранения углекислого газа и реактивной транспортировки в контролируемой среде. Поэтому очень важно изучать влияние поверхности глины на диффузию ионов и молекул воды.

Среднеквадратичное смещение (MSD) представляет собой расстояние мгновенного прыжка частицы от исходного положения до некоторой точки, при диффузии, и используется для расчета коэффициента самодиффузии. Самодиффузия является важным параметром подвижности. Чем выше коэффициент диффузии (одного вещества относительно другого), тем быстрее они проникают друг в друга. Коэффициент самодиффузии можно определить из соотношения:

$$D = \frac{1}{6} \cdot \frac{d}{dt} \langle (R(t) - R(0))^2 \rangle, \quad (1)$$

где $R(0)$, $R(t)$ – начальное и конечные положения частицы через время t .

На рисунке представлены рассчитанные нами кривые, показывающие MSD различных частиц в двойном диффузионном слое (ДДС), формирующимся на поверхности иллитовой глины. Из графиков следует, что коэффициент диффузии Na^+ составляет $3,75 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$, Cl^- – $8,57 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ и воды – $1,13 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$. Коэффициент диффузии аниона по краевой поверхности кристаллита глины более чем 2 раза больше, чем катиона. Однако при больших расстояниях между слоями глины или по поверхности частицы глины подвижность анионов больше подвижности катионов [1].



В докладе обсуждается процесс поверхностной диффузии ионов. Наблюдается корреляция коэффициента диффузии от параметров глины и солености водного раствора. Установлено, что поверхностная диффузия более медленная, чем диффузия между слоями минерала глины.

1. Glaus M. A. et al. Diffusion of ^{22}Na and ^{85}Sr in montmorillonite: evidence of interlayer diffusion being the dominant pathway at high compaction // Environmental science & technology. – 2007. – V. 41. – №. 2. – P. 478-485.

ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ ОТ ВНЕДРЕННЫХ МИКРОЧАСТИЦ

Хорохорин Д.М.

ФЯО ФГУП «ГХК», Железногорск, ул. Ленина, 53

E-mail: mitek2407@mail.ru

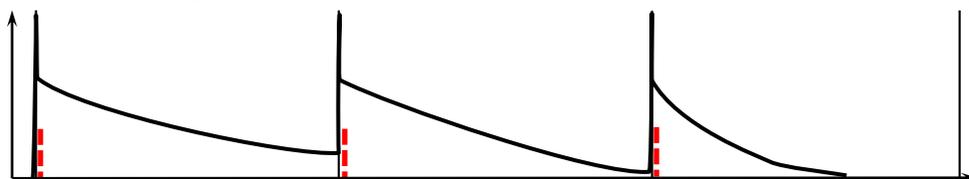
Воздействие лазерного излучения высокой интенсивности приводит к возникновению оптического пробоя. Плазма оптического пробоя, возникающая при лазерной абляции, имеет низкую степень ионизации и низкую концентрацию свободных электронов. При лазерной абляции на плазменную частоту влияют микрочастицы, имеющие заряд. Лазерный пробой сопровождается генерацией электрических и магнитных полей.

Для экспериментального исследования плазменных колебаний, возникающей при ионизации аэрозолей в парогазовом облаке продуктов абляции, использовали частицы Al_2O_3 с размером 0,5-1 мкм, при средней концентрации 10^{10} м^{-3} . Использовали $CO_2:N_2$ лазер с длительностью импульсов 0,3-0,5 мкс.

Амплитуда регистрируемых электрических и магнитных колебаний, возникающих в результате пробоя, уменьшается со временем, а период колебаний увеличивается. При максимальной амплитуде импульсов частота регистрируемой электромагнитной волны составляет 10^5 Гц.

Плазменная частота лазерного пробоя зависит от электрохимического потенциала, состава компонентов, плотности и гранулометрического состава аэрозоля. Поэтому по плазменной частоте пробоя возникающей при очистке поверхностей, можно судить о качестве очистки. Уменьшение частоты ниже 10^4 Гц служит условием для перемещения точки облучения.

Наличие жидкости способствует интенсификации процесса лазерной очистки. При лазерной очистке поверхности под слоем жидкости, испаряется оксидная пленка на поверхности металла, которая эффективно поглощает излучение. Отраженная от твердой подложки часть электромагнитной волны претерпевает интенсивное рассеяние на наночастицах. При загрязнении поверхности сигналы, регистрируемые фотоприемником, имеют большую амплитуду и продолжительное послесвечение плазменного образования.



При удалении слоя загрязнения и микрочастиц, процессы испарения и образования пузырьков пара становятся менее интенсивными. Таким образом, при очистке поверхности металла происходит уменьшение времени по-

слесвечения плазмы, которое сопровождается изменением формы сигналов регистрируемых фотоприемником – переходом к сигналам с меньшей амплитудой. При этом необходимо переместить лазерный луч на соседнюю точку поверхности мишени.

НАГРЕВ МИКРОЧАСТИЦ ПОЛУПРОВОДНИКА В ПОЛЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Хорохорин Д.М.

ФЯО ФГУП «ГХК», Железногорск, ул. Ленина, 53

E-mail: mitek2407@mail.ru

В настоящее время разрабатываются ядерные реакторы 4-го поколения, использующее МОХ-топливо. Такое топливо содержит Pu, которое в 10^5 раз активнее природного урана. Поэтому отбраковываются твэлы, внешняя поверхность которых загрязнена микрочастицами МОХ-топливо. Эти неснимаемые микрочастицы находятся, как правило, в объеме сварного шва. При использовании лазерных импульсов наносекундной длительности можно пренебрегать наличием металлической матрицы.

Цель настоящих исследований – моделирование динамики нагрева полупроводниковых микрочастиц лазерным излучением.

При проведении экспериментальных частиц вместо оксидов радиоактивных элементов можно использовать имитаторы – соединения, имеющие близкие теплофизические свойства. В качестве имитаторов оксидов актиноидов можно использовать оксиды лантаноидов. Эти оксиды обладают полупроводниковыми свойствами. Поэтому они слабо поглощают на длинах волн коротковолновых лазеров. Поглощение значительно увеличивается на длине волны 10,6 мкм. На этой длине волны металлы хорошо отражают оптическое излучение. Поэтому нагрев полупроводниковой матрицы происходит, в основном, за счет теплопроводности.

Анализ теплофизических свойств оксидов актиноидов и лантаноидов показывает, что для композиций $UO_2 - PuO_2$ и $UO_2 - ThO_2$ невозможно подобрать смесь двух лантаноидов как идеальных имитаторов. Наиболее доступным из оксидов лантаноидов является оксид церия, который можно использовать при проведении экспериментальных исследований.

Моделировали процесс нагрева микрочастиц UO_2 , PuO_2 , ThO_2 , CeO_2 , диаметром 0,5 мкм, лазерным излучением с длиной волны 10,6 мкм. Результаты исследований показывают, что импульсным лазерным нагревом излучением 10,6 мкм микрочастицы UO_2 и PuO_2 одновременно нагреваются до точки кипения. Время, необходимое для нагрева до начала кипения составляет 42 нс. При этом до начала кипения оксида церия необходимо до 40% больше времени, чем при нагреве UO_2 или PuO_2 .

В докладе также обсуждаются результаты экспериментальных исследований лазерного нагрева микрочастиц, находящихся в стальной матрице, при интенсивности 17,8-27,8 кВт/см² излучения Nd-лазера длительностью 1,5 мс. Показано, что удаляются с поверхности трубки твэла прилипшие микроча-

стицы UO_2 . В указанном диапазоне интенсивностей облученная лазерными импульсами поверхность твэла соответствует техническим условиям по максимальной глубине лазерных кратеров.

Секция 3

ПЛАЗМЕННЫЕ И ВОДОРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ В НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЯХ Zr/Nb ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ПРОТОНАМИ

Ломьгин А.Д., Лаптев Р.С.

Научный руководитель: Лидер А.М., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lomyginanton141@gmail.com

Наноразмерные многослойные покрытия (НМП) все чаще используются в энергетике, электронике, машиностроении, оптике, биотехнологиях и других отраслях промышленности. Причиной этого является возможность значительного изменения физико-механических свойств и коррозионной стойкости конструкционных материалов. Изменения толщины и состава слоев могут привести к повышению прочности, твердости и формированию нанокompозита с широким спектром функциональных назначений [1, 2]. Доза облучения находилась в диапазоне от $3,4 \cdot 10^{15}$ до $3,4 \cdot 10^{16}$ ионов/см². На рисунке 1 изображена зависимость S и W параметра от энергии позитронов для облученных и исходных образцов НМП Zr/Nb с толщиной индивидуальных слоев 10 ± 1 нм (ZrNb10).

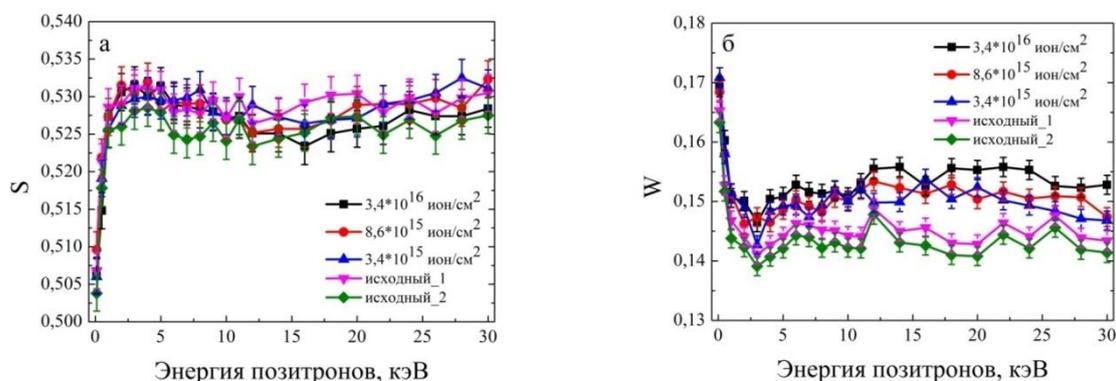


Рис. 1. График зависимости S (а) и W (б) параметров от энергии позитронов для облученных и исходных НМС ZrNb10

Вне зависимости от дозы облучения, из рисунка 1а видно, что значение S параметра, а также W параметр на рисунке 1б находится на одном уровне с учетом погрешности.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Госзадание "Наука" № FSWW-2020-0017.

1. Laptev R., Lomygin A., Krotkevich D., et al. Effect of Proton Irradiation on the Defect Evolution of Zr/Nb Nanoscale Multilayers // Metals. – 2020. – Vol. 10. – №. 4. – Article number – 535, P. 1–12
2. Laptev R., Svyatkin L., Krotkevich D., Stepanova E., Pushilina N., Lomygin A., Ognev S., Seimek K., Uglov V. First-Principles Calculations and Experimental Study of H⁺-Irradiated Zr/Nb Nanoscale Multilayer System // Metals. – 2021. – Т. 11. – №. 4. – Article number – 627, P. 1–17

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТОПЛИВНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

Кузнецова А.А.,¹ Каренгин А.А.², Новоселов И.Ю.¹

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

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

²АО «СХК», 636039, г. Северск, Томской области, ул. Курчатова, дом 1

E-mail: aak264@tpu.ru

Одним из приоритетных направлений развития ядерной энергетики в России является использование высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для получения водорода в процессе паровой конверсии метана.

Применяемое ядерное топливо в виде керамики из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, имеет низкую теплопроводность, высокую хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (3-5 лет), ограниченный ресурс по изотопу уран-235.

Перспективным является дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) в виде топливных оксидных композиций (ТОК), включающих оксиды делящихся металлов (уран, плутоний, торий), равномерно распределенных в оксидной матрице, имеющей высокую теплопроводность и малое поперечное сечение поглощения нейтронов [1]. Применяемые методы получения ТОК (раздельное получение и механическое смешение, «золь-гель» и др.) многостадийны, продолжительны, дают неравномерное распределение фаз, требуют большого количества химических реагентов и энергозатрат.

Применение газоразрядной плазмы для плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР) обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз [2].

В работе представлены результаты исследования процесса плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих органический компонент (этанол, ацетон), водные нитратные растворы делящихся (уран, торий) и матричных (магний, иттрий) металлов. Определены составы растворов ВОНР и режимы их переработки, обеспечивающие в воздушно-плазменном потоке получение наноструктурных оксидных композиций.

Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза ТОК для ДЯТ высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для производства водорода.

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
- I.Yu. Novoselov, A.G. Karengin, R.G. Babaev. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938. – P. 1-5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПЛУТОНИЙ-ТОРИЕВОГО ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Басс В.¹, Иванов К.С.²

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

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

²Техническая академия Росатома СПФ, 197348, Россия, ул. Аэродромная, 4

E-mail: vadim2@tpu.ru

Основу ядерной энергетики в XXI веке еще будут составлять АЭС с реакторами на «тепловых» нейтронах, использующих ядерное топливо в виде керамики из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, у которого есть существенные недостатки: низкая теплопроводность, хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (3-5 лет), большие расходы на утилизацию отработавшего топлива, ограниченные природные запасы изотопа уран-235, наработка энергетического плутония.

Перспективным является плутоний-ториевое дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) в виде топливных оксидных композиций (ТОК), включающих оксиды делящихся металлов (плутоний, торий), равномерно распределенных в оксидной матрице, имеющей высокую теплопроводность и малое поперечное сечение поглощения нейтронов [1].

Методы получения ТОК (раздельное получение и механическое смешение, «золь-гель» и др.) многостадийны, продолжительны, дают неравномерное распределение фаз, требуют большого количества химических реагентов и энергозатрат. Использование плазмы для плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР) обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз [2].

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих органический компонент (этанол, ацетон), водные нитратные растворы делящихся (плутоний, торий) и матричных (магний, иттрий) металлов. Определены составы растворов ВОНР и режимы их переработки, обеспечивающие в воздушно-плазменном потоке получение наноструктурных оксидных композиций.

Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза ТОК для плутоний-ториевого дисперсионного ядерного топлива.

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
2. I.Yu. Novoselov, A.G. Karengin, R.G. Babaev. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938. – P. 1-5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТОПЛИВНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ДИСПЕРСИОННОГО REMIX-ТОПЛИВА

Суняйкина А.А.¹, Каренгин А.А.², Кузнецов С.Ю.¹

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

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

²АО «СХК», 636039, г. Северск, Томской области, ул. Курчатова, дом 1

E-mail: suniaikina.anna2000@yandex.ru

Применяемое ядерное топливо в виде керамики из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, имеет низкую теплопроводность, высокую хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (3-5 лет), ограниченный ресурс по изотопу уран-235.

Перспективным является дисперсионное REMIX-топливо, получаемое из отработавшего ядерного топлива в виде топливных оксидных композиций (ТОК), включающих оксиды делящихся металлов (уран, плутоний), равномерно распределенных в оксидной матрице, имеющей высокую теплопроводность и малое поперечное сечение поглощения «тепловых» нейтронов [1]. Применяемые методы получения ТОК (раздельное получение и механическое смешение, «золь-гель» и др.) многостадийны, продолжительны, не дают равномерное распределение и необходимый состав фаз, требуют химических реагентов и значительных энергозатрат.

Применение плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР) обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз, низкие энергозатраты [2].

В работе представлены результаты исследования процесса плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих органический компонент (этанол, ацетон), водные нитратные растворы делящихся (уран, плутоний) и матричных (магний, иттрий) металлов. Определены составы растворов ВОНР и режимы их переработки, обеспечивающие в воздушно-плазменном потоке получение наноструктурных оксидных композиций.

Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза ТОК для дисперсионного REMIX-топлива.

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
2. I.Yu. Novoselov, A.G. Karengin, R.G. Babaev. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938. – P. 1-5.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «ОКСИД НЕОДИМА – ОКСИД САМАРИЯ – ОКСИД МАГНИЯ»

Андреев Д.В.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dval7@tpu.ru

Применяемые методы получения сложных оксидных композиций (СОК) многостадийны, продолжительны, дают неравномерное распределение фаз, требуют химических реагентов и значительных энергозатрат [1]. Использование газоразрядной плазмы для плазмохимического синтеза СОК из диспергированных водных нитратных растворов (ВНР) обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение фаз, позволяет активно влиять на размер и морфологию частиц [2]. Однако плазменная переработка только растворов ВНР требует значительных энергозатрат (до 4 МВт·ч/т) и не позволяет получать СОК заданного фазового состава без дополнительного водородного восстановления.

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза СОК в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР, включающих органический компонент (этанол, ацетон) и водные нитратные растворы неодима, самария и магния.

На рис. 1 показано влияние температуры на характерный равновесный состав в конденсированных фазах продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-2, обеспечивающего при массовой доле воздуха 69 % плазмохимический синтез СОК-2 (9% Sm_2O_3 – 81% Nd_2O_3 – 10% MgO).

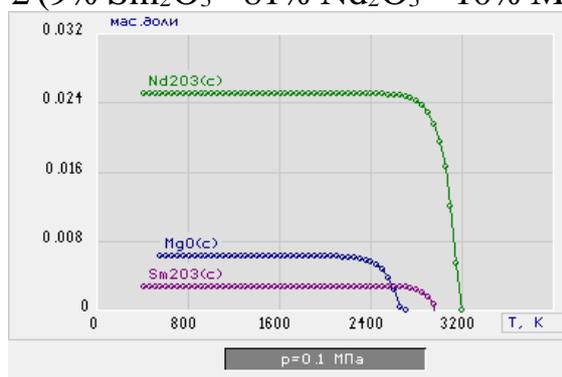


Рис. 1.

Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза СОК для различных металлов.

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
2. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 759 с.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «ОКСИД САМАРИЯ – ОКСИД ЦЕРИЯ – ОКСИД МАГНИЯ»

Огородников С.А., Басс В.И.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vadim2@tpu.ru

Традиционные методы получения сложных оксидных композиций (СОК) многостадийны, продолжительны, требуют химических реагентов и значительных энергозатрат, дают неравномерное распределение фаз [1]. Использование плазмы для плазмохимического синтеза СОК из диспергированных водных нитратных растворов металлов (ВНР) обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение фаз, позволяет влиять на размер и морфологию частиц [2]. Однако плазменная переработка растворов ВНР требует энергозатрат до 4 МВт·ч/т и не позволяет получать СОК необходимого фазового состава без дополнительного водородного восстановления.

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза СОК в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР, включающих органический компонент (этанол, ацетон) и водные нитратные растворы самария, церия и магния.

На рис. 1 показано влияние температуры на характерный равновесный состав в конденсированных фазах продуктов плазменной переработки раствора ВОНР-1, обеспечивающего при массовой доле воздуха 69 % плазмохимический синтез СОК-1 (9,5% Sm_2O_3 – 85,5% Ce_2O_3 – 5,0% MgO).

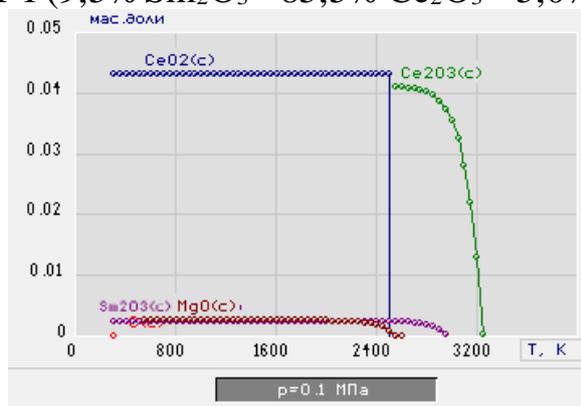


Рис. 1.

Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза СОК из различных металлов.

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
2. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 759 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТОПЛИВНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УРАН-ТОРИЕВОГО ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Тихонов А.Е.

АО «ПО «ЭХЗ», 663690, Россия, г. Зеленогорск, ул. Первая Промышленная, 1
E-mail: aet13@tpu.ru

Применяемое на АЭС ядерное топливо в виде керамики из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, имеет низкую теплопроводность, короткий цикл использования (3-5 лет), высокую хрупкость и склонность к растрескиванию, ограниченный ресурс по изотопу уран-235.

Перспективным является уран-ториевое дисперсионное ядерное топливо в виде топливных оксидных композиций (ТОК), включающих оксиды делящихся металлов (уран, торий), равномерно распределенных в оксидной матрице, имеющей высокую теплопроводность и малое поперечное сечение поглощения нейтронов [1]. При использовании изотопа торий-232 отпадает необходимость в дорогостоящем изотопном обогащении, а цикл использования такого топлива может быть доведен до 10-15 лет.

Применяемые методы получения ТОК («золь-гель», раздельное получение и механическое смешение) многостадийны, продолжительны, требуют химических реагентов и значительных энергозатрат, не обеспечивают равномерное распределение и необходимый состав фаз. Применение плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР) обеспечивает одностадийность, низкие энергозатраты, высокую скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз [2].

В работе представлены результаты исследования процесса плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих органический компонент (этанол, ацетон), водные нитратные растворы делящихся (уран, торий) и матричных (магний, иттрий) металлов. Определены составы растворов ВОНР и режимы их переработки, обеспечивающие в воздушно-плазменном потоке получение наноструктурных оксидных композиций.

Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза ТОК для уран-ториевого ДЯТ.

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
2. Karengin A.G., Karengin A.A., Novoselov I. Yu., Tikhonov A.E. Investigation of plasmachemical synthesis of oxide compositions for plutonium-thorium dispersion nuclear fuel // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1989. – P. 1-5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТОПЛИВНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ДИСПЕРСИОННОГО МОХ-ТОПЛИВА

Расторгуев В.И.

АО «ПО «ЭХЗ», 663690, Россия, г. Зеленогорск, ул. Первая Промышленная, 1
E-mail: vir12@tpu.ru

Традиционное ядерное топливо в виде керамики из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, имеет низкую теплопроводность, высокую хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (3-5 лет), ограниченный ресурс по изотопу уран-235.

Перспективным является дисперсионное МОХ-топливо в виде топливных оксидных композиций (ТОК), включающих оксиды делящихся металлов (уран, плутоний), равномерно распределенных в оксидной матрице, имеющей высокую теплопроводность и малое поперечное сечение поглощения нейтронов [1].

Применяемые методы получения ТОК («золь-гель», раздельное получение и механическое смешение) многостадийны, продолжительны, требуют химических реагентов и значительных энергозатрат, не обеспечивают равномерное распределение и необходимый состав фаз. Применение плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР) обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз, низкие энергозатраты [2].

В работе представлены результаты исследования процесса плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих органический компонент (этанол, ацетон), водные нитратные растворы делящихся (уран, плутоний) и матричных (магний, иттрий) металлов. Определены составы растворов ВОНР и режимы их переработки, обеспечивающие в воздушно-плазменном потоке получение наноструктурных оксидных композиций.

Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза ТОК для дисперсионного МОХ-топлива.

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
2. Karengin A.G., Karengin A.A., Novoselov I.Yu., Tikhonov A.E. Investigation of plasmachemical synthesis of oxide compositions for plutonium-thorium dispersion nuclear fuel // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1989. – P. 1-5.

OBTAINING OF COMPOUNDS FOR DISPERSION NUCLEAR FUEL OF PLUTONIUM-THORIUM IN PLASMA

Tikhonov A.E.¹, Rastorguev V.I.¹, Novoselov I.Yu.²

Scientific adviser: Novoselov I.Yu., lecturer

¹Electrochemical plant, 663690, Russia, Zelenogorsk, 1 Pervaya Promyshlennaya Str.

²National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, 30 Lenin Avenue

E-mail: aet13@tpu.ru

The use of ²³⁹Pu and ²³²Th does not require expensive isotopic enrichment and makes it possible to create power plants up to 100 MW for use in remote and hard-to-reach regions. Therefore, it is promising to create a dispersion nuclear fuel in the form of fuel oxide compounds (OC), including oxides of fissile metals (Pu, Th) distributed in a matrix with high thermal conductivity and low neutron absorption [1].

For energy-efficient production of OC, plasmachemical synthesis from water-organic nitrate solutions (WONS) with a lower calorific value of at least 8.4 MJ/kg can be used [2].

Experimental studies of synthesis of fuel OC in air-plasma flow were carried out through the plasma installation based on a high-frequency generator with the use of model WONS including an organic component (acetone) and mixed water nitrate solutions of Mg, and also Sm and Ce, which have similar properties to fissile metals (Pu and Th), and simulate the plasmachemical synthesis of OC PuO₂–ThO₂–MgO.

The prepared WONS were fed at a constant flow rate (300 l/h) into the disperser and then dispersed into the reactor, where the synthesis of model OC was carried out in air-plasma flow at a temperature about 1000 °C. As a result of the study, the regularities of the influence of WONS composition, the modes of their dispersion, as well as the quenching rate on the properties of OC were established.

An increase in the mass fraction of the matrix (MgO) from 10 % to 30 % in the OC Sm₂O₃–Ce₂O₃–MgO leads to reduce the size of the OC agglomerated particles from 9.4 μm to 7.4 μm (laser diffraction method). In this case, the specific surface area of OC increases from 7.9 m²/g to 11.2 m²/g, and the size of grains in the composition of OC decreases from 110 nm to 86 nm (BET analysis).

Thus, the compositions of the model WONS and the modes of their plasma processing have been determined, which ensure the synthesis of nanosized complex OC in air-plasma flow.

The research results can be used to create a technology for the plasmachemical synthesis of nanosized fuel OC for plutonium-thorium dispersion nuclear fuel.

1. Alexeyev S.V., Zaytsev V.A., Tolstoukhov S.S. Dispersion nuclear fuel. – Moscow: Tekhnosfera, 2015. – 248 p.
2. Karengin A.G., Karengin A.A., Kovalev A.V., Novoselov I.Yu. Calculation and optimization of plasma disposal of combustible waste after spent nuclear fuel processing // Russian Physics Journal. – 2014. – Vol. 57. – P. 31–34 [in Russ.].

ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Помесячная Е.Д.¹, Шестакова Л.А.²

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

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

²Машиностроительный завод, 144000, Россия, Электросталь, ул. К. Маркса, 12

E-mail: edp8@tpu.ru

В результате работы предприятий ЯТЦ в бассейнах-хранилищах накоплены миллионы тонн жидких радиоактивных отходов в виде иловых отложений (ИЛО), основными компонентами которых являются: Fe (3-17 %), Si (2,8-8,5 %), Ca (0,2-3,2 %), Mg (1,0-2,8 %), Na (0,7-1,9 %), P (0,1-0,9 %), остальное вода [1].

Общими недостатками применяемых методов утилизации (химические, электрохимические, сорбционные и др.) и стабилизации ИЛО с переводом в устойчивые формы, препятствующие миграции радионуклидов, являются многостадийность, продолжительность и высокая стоимость [2,3].

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при переработке ИЛО в виде оптимальных по составу диспергированных илоорганических композиций (ИЛОК), включающих органический компонент, и обеспечивающих их энергоэффективную плазменную переработку [4].

В результате проведенных термодинамических расчетов определены составы ИЛОК и режимы их переработки, обеспечивающие энергоэффективную воздушно-плазменную утилизацию ИЛОК с получением продуктов в конденсированных фазах в виде простых и сложных оксидов металлов, включая магнитный оксид железа $Fe_3O_4(c)$:

- состав ИЛОК – 40 % ИЛО : 15,5 % ДТ : 44,5 % вода;
- массовое отношение фаз – 70 % воздух : 18 % ИЛОК;
- температура – 1500 ± 200 К.

1. Орешкин Е.А., Каренгин А.Г., Шаманин И.В. // IV Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 18.
2. Шингарев Н.Э. и др. Способы обращения с илами водоемов-хранилищ радиоактивных отходов. // Экология и промышленность России. – 2000. – № 3. – С. 43-45.
3. Соболев И.А., Хомчик Л.М. Обезвреживание радиоактивных отходов на централизованных пунктах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – С. 75-78.
4. Shekhovtsova A.P., Karengin A.G. Efficiency Assessment of Using Flammable Compounds from Water Treatment and Methanol Production Waste for Plasma Synthesis of Iron-Containing Pigments // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142. Article number 012045. – P. 1-7.

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ ВОДНООРГАНИЧЕСКИХ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ УРАНА, ПЛУТОНИЯ И МАГНИЯ

Щербина Д.С.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vadim2@tpu.ru

У керамического ядерного топлива из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, наряду с достоинствами есть и существенные недостатки: низкая теплопроводность, хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (3-5 лет), большие расходы на утилизацию отработанного топлива, ограниченные природные запасы изотопа уран-235, наработка энергетического плутония.

Перспективным является уран-плутониевое дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) в виде топливных оксидных композиций (ТОК), включающих оксиды делящихся металлов (плутоний, уран), равномерно распределенных в оксидной матрице, имеющей высокую теплопроводность и малое поперечное сечение поглощения нейтронов [1].

Традиционные методы получения ТОК (раздельное получение и механическое смешение, «золь-гель» и др.) многостадийны, продолжительны, не обеспечивают равномерное распределение фаз, требуют большого количества химических реагентов и энергозатрат. Применение плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР) обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз [2].

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих органический компонент (этанол, ацетон), водные нитратные растворы делящихся (плутоний, уран) и матричных (магний) металлов. Определены составы растворов ВОНР и режимы их переработки, обеспечивающие в воздушно-плазменном потоке получение оксидных композиций требуемого фазового состава.

Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза ТОК для перспективных типов дисперсионного ядерного топлива (МОХ, REMIX).

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
2. I.Yu. Novoselov, A.G. Karengin, R.G. Babaev. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938. – P. 1-5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТОПЛИВНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УРАНОВОГО ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Каренгин А.А.

АО «СХК», 636039, г. Северск, Томской области, ул. Курчатова, дом 1
E-mail: aet13@tpu.ru

Основную долю ядерной энергетики в России еще будут составлять АЭС с реакторами на тепловых нейтронах, работающих на керамическом ядерном топливе из диоксида урана, обогащенного по изотопу ^{235}U , у которого наряду с достоинствами есть существенные недостатки: низкая теплопроводность, хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования (3-5 лет), большие расходы на утилизацию отработавшего топлива, наработка плутония, ограниченные природные запасы изотопа ^{235}U .

Перспективным является урановое дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) в виде топливных оксидных композиций (ТОК), включающих диоксид урана, равномерно распределенный в оксидной матрице, имеющей малое поперечное сечение поглощения нейтронов и высокую теплопроводность [1]. Традиционные методы получения ТОК (раздельное получение и механическое смешение, «золь-гель») многостадийны, продолжительны, не обеспечивают равномерное распределение и необходимый состав фаз, требуют химических реагентов и значительных энергозатрат. Применение плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент, обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз, низкие энергозатраты [2].

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций из диспергированных растворов, включающих органический компонент (этанол, ацетон) и водные нитратные растворы делящегося (уран) и матричных (магний, иттрий) металлов. Определены составы растворов и режимы их переработки, обеспечивающие в воздушно-плазменном потоке получение наноструктурных оксидных композиций.

Результаты исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для уранового дисперсионного ядерного топлива.

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
2. Karengin A.G., Karengin A.A., Novoselov I.Yu. et al. Investigation of plasmachemical synthesis of oxide compositions for plutonium-thorium dispersion nuclear fuel // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1989. – P. 1-5.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ НЕОДИМА И ИТТРИЯ

Ельмиров Д.В.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dve11@tpu.ru

Применяемые методы получения оксидных композиций многостадийны, требуют химических реагентов и значительных энергозатрат, не дают равномерное распределение и нужный состав фаз. Использование воздушной плазмы для синтеза оксидных композиций из диспергированных водных нитратных растворов металлов (ВНР) обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение фаз, позволяет влиять на размер и морфологию частиц [1]. Однако плазменная переработка таких растворов требует высоких энергозатрат (до 4 МВт·ч/т) и не позволяет получать оксидные композиции требуемого фазового состава без дополнительного водородного восстановления.

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «оксид неодима–оксид иттрия» в воздушно-плазменном потоке из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (этанол, ацетон) и водные нитратные растворы неодима и иттрия.

На рис. 1 показано влияние температуры на характерный равновесный состав в конденсированных фазах продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе ацетона, обеспечивающего при массовой доле воздуха 69 % плазмохимический синтез ОК (90 % Nd_2O_3 – 10 % Y_2O_3).

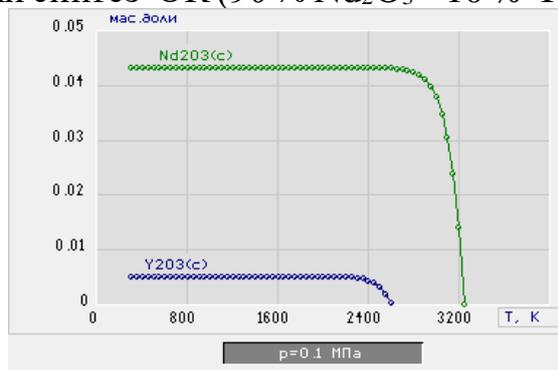


Рис. 1.

Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза оксидных композиций различных металлов.

1. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 759 с.

ПЛАЗМЕННАЯ РЕКОНВЕРСИЯ ОБЕДНЕННОГО ГЕКСАФТОРИДА УРАНА В ВИДЕ ГАЗОВОЗДУШНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Тундешев Н.В.

АО «ПО ЭХЗ», г. Зеленогорск Красноярского края, ул. Первая промышленная, 1
E-mail: tundeshev93@mail.ru

При обогащении гексафторида урана только малая часть становится продуктом, обогащенным по ^{235}U , а основная часть в виде обедненного гексафторида урана (ОГФУ) уходит в «отвал» с содержанием 0,10...0,35%. Хранение и переработка ОГФУ представляют собой сложную техническую и экологическую проблему. Методы реконверсии ОГФУ (реконверсия в диоксид урана в кислородно-водородном пламенном реакторе; восстановление четырёххлористым углеродом; восстановление водородом до тетрафторида урана в пламенных реакторах) многостадийны, требуют применения различных химических реагентов и высоких энергозатрат.

На АО «ПО «Электрохимический завод» работает промышленная установка «W-ЭХЗ» для реконверсии ОГФУ (фирма «Orano», Франция) с получением закиси-окиси урана и плавиковой кислоты, за время эксплуатации которой переработано около 200 тыс. т ОГФУ. Однако эта двухстадийная технология требует применения химических реагентов (водяной пар, азот, водород и др.) и значительных энергозатрат.

Для реконверсии ОГФУ перспективным является применение низкотемпературной плазмы [1]. В работе представлены результаты термодинамического моделирования процесса плазменной реконверсии ОГФУ в воздушной плазме в виде газозвушных композиций « $\text{UF}_6\text{-H}_2$ ».

На рисунке 1 показано влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов воздушно-плазменной реконверсии ОГФУ в виде ГВК-3 ($\text{UF}_6 : \text{H}_2 = 1 : 5$) при массовой доле воздуха 40%.

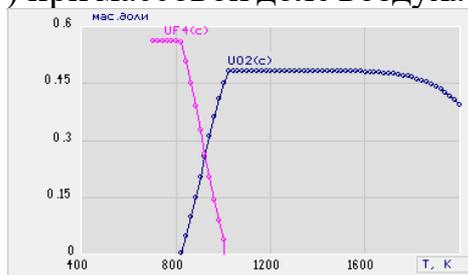


Рис. 1

Результаты исследований могут быть использованы для разработки энергоэффективной технологии плазменной реконверсии ОГФУ.

1. Karengin A.G., I. Shamanin I.V., Tundeshev N.V. Optimization of Air Plasma Reconversion of UF_6 to UO_2 based on Thermodynamic Calculations // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938. – Article number 020018. – P. 1-4.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ НЕОДИМА И ИТТРИЯ

Кузнецов С.Ю.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sergey_kuz_0908@mail.ru

Применяемые методы получения оксидных композиций многостадийны, требуют химических реагентов и значительных энергозатрат, не дают равномерное распределение и требуемый состав фаз.

Использование воздушной плазмы для синтеза оксидных композиций из диспергированных водных нитратных растворов металлов (ВНР) обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение фаз, позволяет влиять на размер и морфологию частиц [1]. Однако плазменная переработка таких растворов требует высоких энергозатрат (до 4 МВт·ч/т) и не позволяет получать оксидные композиции требуемого фазового состава без водородного восстановления.

Применение плазмохимического синтеза оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны) и растворы ВНР, обеспечивает одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз, низкие энергозатраты [2].

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «оксид неодима–оксид магния» в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР, включающих органический компонент (этанол, ацетон) и водные нитратные растворы неодима и иттрия.

В работе определены составы растворов ВОНР и режимы их воздушно-плазменной переработки, обеспечивающие плазмохимический синтез наноразмерных оксидных композиций требуемого фазового состава.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза наноразмерных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов неодима и магния, а также редких, редкоземельных и других металлов.

1. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 759 с.
2. Karengin A.G., Karengin A.A., Novoselov I.Yu. et al. Investigation of plasmachemical synthesis of oxide compositions for plutonium-thorium dispersion nuclear fuel // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1989. – P. 1-5.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ^{222}Rn

Неволин Н.Р., Маренкова Е.А., Капитонов А.Б.

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

Научный руководитель: Черепнев М.С., инженер

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

E-mail: nm5@tpu.ru

В настоящее время для предотвращения метастазирования рака предстательной железы используется изотоп ^{223}Ra , являющийся активным компонентом радиофармпрепарата. Преимущественно ^{223}Ra получают из ^{226}Ra путём облучения нейтронами в канале ядерного реактора.

Перспективным является получение ^{223}Ra из газообразного ^{222}Rn при его облучении тяжелыми заряженными частицами в канале ускорителя частиц. Однако использование ^{222}Rn в качестве газофазного мишенного узла нецелесообразно, так как не существует эффективного метода его избирательного выделения-кумуляции.

Основным недостатком традиционных методов избирательного поглощения и удержания газообразного ^{222}Rn с применением неорганических материалов (ад-, аб-, хемосорбция, клатратация, задержка внутри пор и др.) является низкая избирательность.

Перспективным является использование для избирательного поглощения и удержания газообразного ^{222}Rn наноразмерных оксидных композиций, получаемых плазмохимическим синтезом из диспергированных водно-органических нитратных растворов, обеспечивающих одностадийность, высокую скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз [1].

В ходе проведенных экспериментов по выявлению избирательного поглощения и удержания ^{222}Rn порошками наноразмерных оксидных композиций, полученных плазмохимическим синтезом, зафиксирован по набранным гамма-спектрам факт избирательного поглощения и удержания газообразного ^{222}Rn наноразмерными порошками простых и сложных оксидов металлов (MgO ; Al_2O_3 ; $\text{ZrO}_2+\text{Y}_2\text{O}_3$).

В дальнейшем планируется продолжить исследования по избирательному поглощению и удержанию газообразного ^{222}Rn с применением наноразмерных оксидных композиций различного состава.

1. Ivan Novoselov, Alexander Karengin, Igor Shamanin, Evgeny Alyukov, Alexander Gusev. Plasmachemical Synthesis of Nanopowders of Ytria and Zirconia from Dispersed Water-Salt-Organic Mixtures // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938, Article number 020010. – P. 1-7.

РАЗРАБОТКА ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССОВ НА АСИММЕТРИЧНОМ ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Головков Н.И.¹

Научный руководитель: Сосновский С.А.², к.ф.-м.н., с.н.с.

¹УМЗ, РК, г. Усть-Каменогорск

²Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

E-mail: ssa777@mail.ru

Использование водорода в качестве энергоносителя имеет много преимуществ, таких как экологическая безопасность, высокая теплопроводность, низкая вязкость и др. Главный недостаток современных электролизёров – это высокое энергопотребление. Одним из путей повышения эффективности электролитического получения водорода является уменьшение перенапряжения электродных процессов и, как следствие, снижение напряжения на электролизёре. Для решения этой проблемы разработаны новые материалы, модифицированные наночастицами палладия, одно- и многокомпонентные поверхностные катализаторы на основе ренеевских сплавов, композиционные никелевые покрытия, содержащие включения ниобия и тантала, а также скелетные катализаторы, позволяющие увеличить поверхность электродов. Однако создание перечисленных материалов предполагает использование дорогостоящих металлов и сложной технологии производства.

Цель настоящей работы состояла в разработке экономичной технологии получения водорода, с использованием электрохимических процессов на асимметричном переменном токе в условиях резонансных взаимодействий. Для разработки этой технологии потребовалось решить ряд проблем: установить причины возникновения электрохимического резонанса, общие свойства и условия существования характеристических частот. Известно, что коэффициент обмена протия, лёгкого водорода, с поверхностью протонпроводящего оксида во много раз больше по сравнению с коэффициентом обмена дейтерия, тяжёлого водорода. Кроме того реакции лёгкого водорода с кислородом идут во много раз быстрее, в отличии от тяжёлого водорода. Вода состоит из молекул H₂O, HDO и D₂O. В связи с этим, согласно электрохимической резонансной формуле:

$$f = f_0 \frac{1}{Fn}$$

на катоде будет выделяться лёгкий водород, тяжёлый водород, который имеет свою ценность, будет оставаться в жидком остатке.

В докладе представлены обзорные данные, данные экспериментального оборудования, общие выводы, выводы о перспективах использования этой технологии и список литературы. Показана физико-химическая и математическая модель процесса.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Цхе А.А.¹, Мостовщиков А.В.¹, Сосновский А.С.²

Научный руководитель: Рюот Л.О., к.т.н., доцент

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

²Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

E-mail: ssa777@mail.ru

Высокие темпы развития нефтехимической, химической и фармацевтической отраслей, увеличение номенклатуры химической продукции неуклонно приводят к росту потребления химических препаратов. Со сточными водами от нефтехимической, химических и фармацевтических производств, лечебно-профилактических учреждений и животноводческих ферм химические вещества попадают в водоемы. Современные методы очистки водных стоков оказались неэффективными в отношении ряда химических препаратов. Эти препараты способны вызывать гибель микроорганизмов систем биочистки сточных вод, а при попадании в водоем наносят тяжелый урон его флоре и фауне. В настоящее время наиболее универсальным и широко применяемым методом очистки сточных вод является биологическая и электрохимическая очистки. Одним из способов подготовки воды для биологической и электрохимической очистки могут служить процессы деструкции синтетической органики при действии активных радикалов созданных в атмосферной плазме СВЧ-разряда в результате высокой энергетической эффективности плазмохимических реакций, протекающих в результате колебательного возбуждения молекул вещества в СВЧ-плазме. Одна из причин этого интереса заключается в новых возможностях, которые открывает этот разряд для практического использования. Проведено термодинамическое исследование плазмохимических процессов, протекающих в СВЧ горелке, что позволило определить возможность образования определенных количеств химических соединений в данных условиях. Для термодинамического анализа используется универсальная программа TERRA. Основными разрядными продуктами являются активные окислители: короткоживущие частицы $\cdot\text{O}$, $\cdot\text{OH}$ и другие, способные воздействовать на растворы непосредственно во время СВЧ-электролизной обработки воздуха.

Целью настоящей работы явилось исследование деструкции водных растворов диклофенака ($\text{C}_{14}\text{H}_{11}\text{Cl}_2\text{NO}_2$), как модельного вещества, представляющего особую сложность при очистки сточных вод, в условиях воздействия активных радикалов созданных в плазме атмосферного СВЧ-разряда. Также на выбор этого вещества повлияло возможностью прямого спектрофотометрического определения в интервале длин волн 200–600 нм с использованием спектрофотометра. В докладе представлены обзорные данные, данные экспериментов, данные экспериментального оборудования, аналитические данные, общие выводы, выводы о перспективах использования этой технологии и список литературы. Показана физико-химическая и математическая модель процесса.

TURBULENCE MODELS FOR NUMERICAL SIMULATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN SCWR

Parimala Rangan Fidel Castro

Scientific supervisor: Korotkikh A.G., Doctor of Physics and Mathematical Sciences
Tomsk Polytechnic University, 30 Lenina Avenue, Tomsk 634050 Russian Federation
E-mail: fidelcastroprp@gmail.com

In the present study, Computational fluid dynamics (CFD) simulation was conducted for 2×2 rod bare bundle using water at supercritical pressures. Main objective of the simulation is to compare calculation results with varying temperatures. CFD simulation was performed to replicate the results from the experiment of heat transfer to supercritical water in 2×2 rod bundle conducted at Shanghai Jiao Tong University [1]. This report presents the results to assess capability of the commercial CFD software Ansys fluent in simulating the convective heat transfer of water at supercritical pressures in nuclear fuel rod. The type of flow for simulation is taken as steady state flow. The mass flux is $800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ and the heat flux is 600 kW/m^2 . The experiment was performed for the pressure of 25 MPa . The temperature varies from 300°C , 340°C and 380°C . This simulation is conducted for steady state i.e. all the physical properties of water such as density and viscosity are considered as constant K-epsilon turbulence model is used for our CFD simulation.

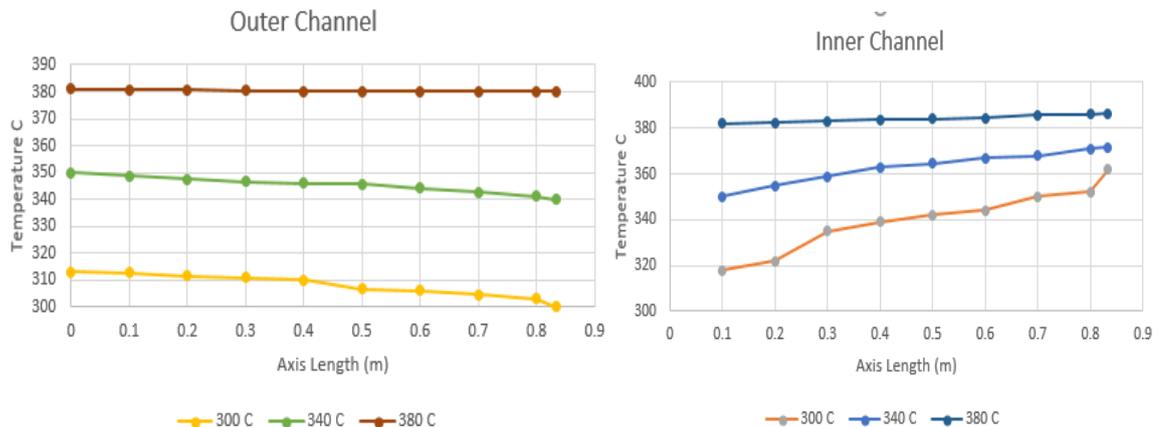


Figure 1 - Dependence of the coolant temperature at 300°C , 340°C , 380°C on the channel length

The results obtained from CFD simulation comes in close agreement with the experimental data as shown in fig1. Temperature is plotted along the radial length for inner and outer channels. The graph obtained is compared with the experimental results. The results were obtained for three inlet temperature of 300°C , 340°C and 380°C for 25 MPa pressure.

1. H.Y. Gua, Z.X. HuD. Liua; X. Cheng, Experimental studies on heat transfer to supercritical water in 2×2 rod bundle with two channels //Nuclear Engineering and Design Volume 291, September 2015, Pages 212-223.

ВЛИЯНИЕ He+ ОБЛУЧЕНИЯ НА ДЕФЕКТНУЮ СТРУКТУРУ ПЛЕНКИ Nb

Бордулев Ю.С., Лаптев Р.С., Кроткевич Д.Г.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bus@tpu.ru

Материалы на основе Zr и Nb являются одними из часто используемых в области ядерных технологий, благодаря малому сечению захвата тепловых нейтронов, устойчивости к коррозии и другим свойствам. Исследования многослойных систем Zr/Nb показали высокую радиационную стойкость к облучению Si⁺ и He⁺ [1]. Для объяснения данного эффекта, необходимо исследовать процессы эволюции дефектной структуры как моно, так и чередующихся мультислоев указанных материалов. Эта работа посвящена исследованию дефектной структуры пленки Nb до и после облучения пучком He⁺.

Пленки толщиной 1 мкм были облучены ионами He⁺ с флюенсом 10¹⁷ - 10¹⁸ см⁻². Исследование дефектов проводилось методами аннигиляции позитронов с регулируемой энергией. Графики зависимости S-параметра и среднего времени жизни позитронов в исследуемых материалах в зависимости от энергии позитронов представлены на рис. 1.

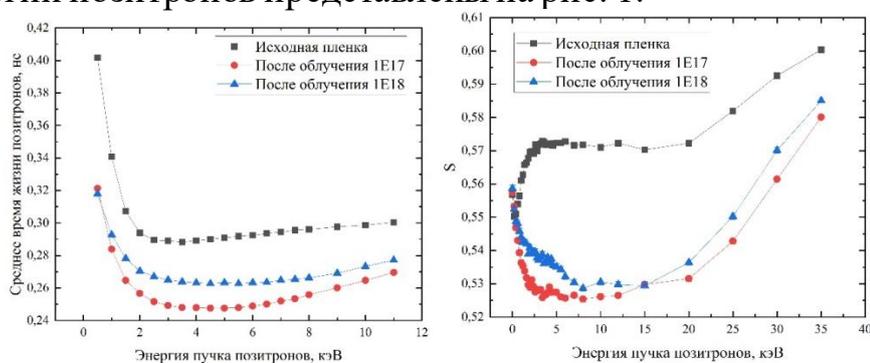


Рисунок 1. Зависимость S- параметра и среднего времени жизни позитронов в исследуемых образцах от энергии позитронов

В ходе проделанного исследования было показано, что исходные пленки характеризуется высоким содержанием объемных дефектов, приводящих к насыщенному захвату позитронов. Основными типами дефектов в исходном материале являются дислокации и крупные вакансионные кластеры.

Облучение ионами He⁺ приводит к снижению общего уровня дефектов и перераспределению их типов в сторону моновакансий и небольших вакансионных кластеров. Данные изменения в первую очередь вызваны радиационным нагревом облучаемого материала.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Госзадание «Наука» № FSWW-2020-0017.

1. Liang, X. Q., et al. Size-dependent microstructure evolution and hardness of He irradiated Nb/Zr multilayers under different ion doses. *Materials Science and Engineering: A*. 2019, 764, 138259. doi:10.1016/j.msea.2019.138259.

НАНЕСЕНИЕ ПЛЁНОК НИТРИДА ТИТАНА НА ЛЕГКОПЛАВКИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Мюсова А.Е.¹ Луценко Ю.Ю.²

Научный руководитель: Луценко Ю.Ю., д.ф.-м.н.

¹ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

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

E-mail: luts@mail.ru

Нитрид титана широко используется в машиностроении как износостойкий и термостойкий материал. Покрытия из TiN [1] наносятся на кромки режущих инструментов. При этом срок службы резцов увеличивается в два раза. Также покрытия из нитрида титана используются в декоративных целях. Цвет нитрида титана неотличим от цвета золота. Поэтому пластины металла, покрытые нитридом титана, применяются при монтаже куполов церквей.

Технология нанесения плёнок нитрида титана ионно-плазменным методом подразумевает наличие проводящей подложки, не подверженной деформации от температурного воздействия. При нанесении плёнок TiN в вакуумной дуговой установке ННВ 6.6 – И1 обрабатываемое изделие помещается в вакуумную камеру, которая откачивается до давления 10^{-2} Па. Затем проводится очистка поверхности изделия пучком ионов с энергией до 1000 эВ. Далее в вакуумную камеру напускается азот и возбуждается вакуумный дуговой разряд, распыляющий титановый катод. При этом между обрабатываемым изделием и стенкой камеры прикладывается постоянный потенциал 200...250 В., необходимый для обеспечения реакции синтеза нитрида титана. Заметим, что для вышеописанной технологической схемы характерен разогрев подложки обрабатываемого изделия до нескольких сотен градусов, что недопустимо в случае нанесения покрытия на пластмассовые изделия.

В настоящей работе приведено описание технологических режимов нанесения покрытий из нитрида титана на легкоплавкие изделия. В качестве обрабатываемых изделий использовались плёнка лавсана и пластмасса, предназначенная для изготовления корпусов фотоаппаратов фирмы Samsung.

Для уменьшения разогрева поверхности обрабатываемого изделия очистка его поверхности проводилась не тлеющим разрядом, как при стандартной технологии, а специально изготовленным ионным источником с энергией ионов не более 500 эВ. Для защиты обрабатываемой поверхности от капель титана с распыляемого катода, использовалась заслонка диаметром 150 мм. Заслонка устанавливалась между катодом и обрабатываемым изделием. Количество капель титана, попадаемых на изделие при этом уменьшалось на 90...95%. Средний размер капель также уменьшался и составлял 2...3 мкм.

В докладе обсуждаются режимы работы плазмотрона и качество формируемых плёнок TiN.

1. Андреев В.Н. Исследование эффективности применения износостойких покрытий на резцах из быстрорежущей стали // Станки и инструмент. – 1982. - №9. – с.18-20.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ С ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА С ПОМОЩЬЮ ПРИРОДНЫХ РАДИОИЗОТОПОВ

Побережников А.Д., Субботина К.А. Смирнов С.В.

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

E-mail: andrewpad@tpu.ru

Важнейшей характеристикой в гидромелиорации является величина суммарного испарения. Суммарное испарение оказывает серьезное влияние на технологии режимов орошения, а через них и на урожайность культур, планирование водных ресурсов и управление водными балансами агроландшафтов. Его величина вместе с осадками является входной информацией для большинства гидрологических и воднобалансовых моделей.

Прямое измерение данного параметра затруднено в связи с технической сложностью реализации и автоматизации необходимого измерительного оборудования. Практически все расчетные методы имеют в основе климатические показатели. Погрешности расчета будут находиться в допустимых пределах при использовании методов в условиях, идентичных тем, для которых они разработаны. Но в силу региональности для конкретной территории выбранный метод необходимо уточнять, вводя поправочные коэффициенты, учитывающие особенности рельефа, технологии орошения, сельскохозяйственных культур и т. д.

Целью настоящей работы является разработка методики определения скорости испарения влаги с поверхности почвы по изменению уровня регистрируемого гамма излучения от рассеянных в ней природных радионуклидов.

На экспериментальной площадке ИМКЭС СО РАН в течение 2020 и 2021 года были проведены измерения природного гамма-фона и собраны данные метеонаблюдений на двух измерительных площадках. По метеоданным была рассчитана теоретическая скорость испарения влаги с поверхности почвы методами теплового и водного баланса. Проведен корреляционный анализ изменения величины испарения и уровня гамма-фона.

Для верификации данных была создана и введена в эксплуатацию автоматизированная испарительная установка, представляющая собой испарительную емкость объемом 100 литров, оборудованную ультразвуковыми сенсорами уровня жидкости и температурными датчиками регистрирующими градиент температуры на различной глубине. Выбор типа испарительной установки был обусловлен тем, что для регионов с достаточным увлажнением почвы скорость испарения с поверхности почвы и с поверхности воды практически равны.

Результаты исследований детально обсуждаются в докладе.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГАММА-ФОНА ВБЛИЗИ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА ТОМСКА, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ПРИРОДНЫХ РАДИОИЗОТОПОВ

Сацук Д.В., Побережников А.Д., Вукулов А.В.

Научный руководитель: Яковлева В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dvs61@tpu.ru

Оценка гамма-фона в городской среде является важным аспектом радиологической защиты населения. В качестве источников облучения могут выступать материалы природного происхождения, имеющие повышенный гамма-фон и используемые в качестве строительных и отделочных материалов зданий и объектов городской инфраструктуры, промышленные объекты, вызывающие загрязнение окружающих территорий материалами, используемыми в технологических процессах. Задача исследований – поиск и локализация этих аномалий.

Радиационная разведка объектов и территорий с целью определения влияния уровня гамма-излучения на население города Томска была проведена для следующих мест: гранитная набережная на р. Ушайка, памятник «400 лет Томску», и сквер Карла Маркса. Измерения проводились с помощью широкодиапазонного дозиметра ДРГ-01Т1, дозиметра-радиометра ДРБП-03 и сцинтилляционного детектора на базе пластикового сцинтиллятора ВС-408. Абсолютные погрешности дозиметров 27%, 16% и 12% соответственно. Средние значения измеренной мощности поглощённой дозы для исследуемых областей составили: для гранитной набережной 0,191 мкЗв/ч, для памятника «400 лет Томску» 0,089 мкЗв/ч, в сквере Карла Маркса 0,108 мкЗв/ч и на набережной р. Томь 0,119 мкЗв/ч.

По измеренным значениям по методике [1] и [2] были рассчитаны годовой эквивалент эффективной дозы и были оценены риски развития рака в течение жизни.

Принимая во внимание полученные результаты можно сделать вывод о том, что эти исследованные объекты не оказывают прямого радиологического воздействия на здоровье населения, но обладают гамма-фоном значительно превышающим среднее значение для данной территории.

1. Крячюнас Видас Винанто, Любас Артём Александрович Особенности пространственной вариабельности радиоактивного фона на территории Архангельска // Arctic Environmental Research. 2013. №2.
2. Яковлев Г.А., Зулу М.Ч. Искажение радиационного фона городской среды вследствие агрессивного влияния техносферы. 2 этап: парки и зоны отдыха // вест. краунц. Физ.–мат. науки. 2020. №4.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТОПЛИВНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТИПОВ ТОЛЕРАНТНОГО МОХ-ТОПЛИВА

Кузнецов С.Ю.¹, Каренгин А.А.², Суняйкина А.А.¹

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

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

²АО «СХК», 636039, г. Северск, Томской области, ул. Курчатова, дом 1

E-mail: sergey_kuz_0908@mail.ru

Одним из основных направлений развития ядерной энергетики в России является создание двухкомпонентной ядерно-энергетической системы на базе реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с замкнутым ядерным топливным циклом с использованием толерантного ядерного топлива, обеспечивающего безопасную работу АЭС [1]. Однако у разработанных типов МОХ-топлива, получаемых из ОЯТ в виде топливных оксидных композиций «диоксид урана – диоксид плутония» методом отдельного получения и механического смешения оксидов урана и плутония, остаются неравномерное распределение фаз и низкая теплопроводность.

Применение плазмы для синтеза топливных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны) и водные нитратные растворы металлов, являются одностадийность, высокая скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие энерго- и трудозатраты [2].

В результате расчетов показателей горючести водно-органических нитратных растворов, включающих органический компонент (этанол, ацетон), водные нитратные растворы делящихся (уран, плутоний) и матричных (магний, иттрий) металлов, определены составы растворов ВОНР, с низшей теплотворной способностью ($\geq 8,4$ МДж/кг) и адиабатической температурой горения (≥ 1500 К), обеспечивающих их энергоэффективную переработку. На основе результатов термодинамического моделирования исследуемого процесса определены условия, обеспечивающие энергоэффективный плазмохимический синтез в воздушной плазме топливных оксидных композиций « UO_2-PuO_2 -оксид магния/оксид иттрия» для толерантного МОХ-топлива.

Результаты исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для толерантного МОХ-топлива.

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
2. Karengin A.G., Karengin A.A., Novoselov I.Yu, Tikhonov A.E. Investigation of plasmachemical synthesis of oxide compositions for plutonium-thorium dispersion nuclear fuel // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1989 (1), Article number 012005. – P. 1-5.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ МЕТАЛЛОВ

Каренгин А.А.

АО «СХК», 636039, г. Северск, Томской области, ул. Курчатова, дом 1
E-mail: karengin@tpu.ru

У разработанных типов ядерного топлива, получаемых из ОЯТ в виде топливных оксидных композиций «диоксида урана – диоксид плутония» методом отдельного получения и механического смешения оксидов урана и плутония, остаются неравномерное распределение фаз и низкая теплопроводность [1]. Преимуществами применения плазмы для синтеза топливных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны) и водные нитратные растворы металлов, являются одностадийность, высокая скорость, равномерное распределение и требуемый состав фаз, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие энерго- и трудозатраты [2]. На рисунке 1 представлена схема процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР.

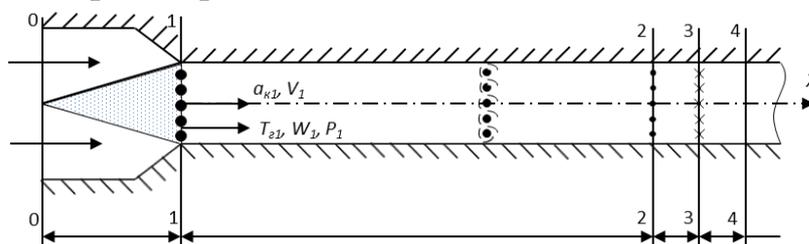


Рис. 1

В результате сравнительного анализа процессов взаимодействия капель растворов ВОНР с воздушно-плазменным потоком показано, что при температурах $T \geq 1500$ К лимитирующей является стадия испарения растворителя (1-2). В результате проведенных расчетов установлено влияние начальных параметров воздушно-плазменного потока (температура, скорость), капель (размер, скорость) и массового отношения фаз на кинетику испарения капель и определены оптимальные режимы проведения исследуемого процесса в реакторе. Результаты исследований могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для различных типов ядерного топлива.

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248.
2. Novoselov I. Yu., Karengin A.G., Babaev R.G. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings. – 2018. – V. 1938. – P. 1-5.

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА

Кузьменко А.С.

Научный руководитель: Тимченко С.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ask147@tpu.ru

Для современных нужд ядерной и термоядерной энергетики требуется получение тяжелой воды. На сегодняшний день основными методами получения тяжелой воды являются электролиз, методы химического изотопного обмена и ректификация. В сравнении с другими методами низкотемпературная ректификация обладает преимуществом в простоте, а также является менее энергозатратным методом [1].

При оптимизации процесса ректификации необходимо определить такие параметры, как флегмовое число, число тарелок, тепловую нагрузку и другие. При этом флегмовое число и температурный режим колонны являются параметрами теплообменного устройства. Также для оптимального использования высоты колонны, а следовательно, и большего коэффициента разделения изотопов, необходимо точно рассчитать температуру флегмы на выходе из теплообменного аппарата. В связи с этим, цель работы заключалась в составлении численной модели змеевикового теплообменного аппарата при низкотемпературной ректификации воды для подбора оптимальных параметров устройства.

Для описания процесса теплообмена составлена математическая модель, состоящая из одномерных уравнений движения, неразрывности и движения с учетом нагрева за счет трения о стенки трубы. Коэффициенты теплоотдачи определены через критериальное число Нуссельта, расчет которого произведен по эмпирическим формулам для ламинарного и турбулентного потоков [2]. Произведено численное решение системы уравнений методом конечных разностей первого порядка точности. Сходимость полученной конечно-разностной схемы проверена по правилу Лакса. Адекватность модели проверена при изменении входных параметров — расходов и начальных температур теплоносителей.

1. Магомедбеков Э.П., Белкин Д.Ю., Растунова И.Л., Селиваненко И.Л. Высокоэффективные контактные устройства для разделения изотопов водорода методом ректификации воды // Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами. ИИИМ'15 JUNIOR: Сб. докл. Десятой Международной школы молодых ученых и специалистов им. А. А. Курдюмова / Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2016. С. 223–238.
2. Исследование процессов теплоотдачи и теплопередачи при установившемся режиме в различных типах теплообменников. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.isuct.ru/dept/chemkiber/piaht/metodwork/newmet/4.2.htm>

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОЙ ФАЗЫ В НАСАДОЧНОЙ КОЛОННЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОДА–ВОДОРОД

Sidorenko V.

Dematic Pty Ltd, Sydney, Australia

E-mail: VladimirSSidorenko@gmail.com

Ректификация представляет собой энергоемкий процесс, требующий постоянной регулировки. Проведение оптимизации на натуральных объектах связано с высокими материальными и временными затратами, поэтому актуальным является использование для этой цели компьютерного моделирования.

Представляемая работа является частью данных исследований и связана с оценкой гидравлических параметров движения жидкой фазы – воды природного изотопного состава, по насадочной колонне при организации ректификационного процесса получения тяжелой воды.

Известно, что в ректификационных колоннах обменный процесс реализуется в условиях противоток фаз, при этом снизу вверх движется паровая фаза, а сверху вниз – жидкая.

Для расчета была выбрана колонна с высотой рабочей зоны 2 м, заполненной нерегулярной насадкой. Известно, что параметры фазовых потоков зависят от режима работы колонны, поэтому в процессе моделирования рассматривался как стационарный, так и нестационарный режимы движения жидкой фазы в отсутствии пара.

В результате расчетов установлено, что в рассматриваемой колонне при расходе воды ~100 моль/час время наступления стационарного состояния составляет, примерно, 20 секунд. Максимальная скорость движения жидкости на входе колонны при нестационарном режиме работы наблюдается при запуске процесса, а затем, непрерывно снижаясь, к 5 и 10 секундам она достигает $4,5 \cdot 10^{-4}$ м/с и $4,0 \cdot 10^{-4}$ м/с, соответственно. Скорость в слое насадки, наоборот, увеличивается и составляет $3 \cdot 10^{-4}$ м/с и $3,5 \cdot 10^{-4}$ м/с на 5 и 10 секундах, соответственно.

Установлено, что в стационарном режиме работы колонны по всей колонне устанавливается примерно одинаковая скорость движения воды равная $5 \cdot 10^{-4}$ м/с, при этом перепад давления между входом и выходом рабочей зоны колонны составляет $2 \cdot 10^4$ Па.

Таким образом, проведенный расчет позволил оценить картину изменения скоростного профиля жидкой фазы в процессе запуска колонны и работе ее в стационарных условиях.

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ РАСЧЕТА КИНЕТИКИ ДВИЖЕНИЯ ПАРОВОЙ ФАЗЫ В НАСАДОЧНОЙ КОЛОННЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОДА–ВОДОРОД

Sidorenko V.

Dematic Pty Ltd, Sydney, Australia

E-mail: VladimirSSidorenko@gmail.com

Ректификация является процессом тепломассообмена между жидкой и паровой фазами, протекающим в колонне, эффективность которого напрямую зависит от площади контакта взаимодействующих фаз. Поэтому колонна заполняется специальными контактными устройствами: регулярными и нерегулярными насадками, тарелками и т.д. Указанный процесс широко применяется для разделения нерадиоактивных элементов и изотопов, и позволяет получать вещества заданного обогащения, применяемые в различных отраслях промышленности.

Обменный процесс в ректификационной колонне протекает в условиях противотока двух фаз, когда снизу вверх движется пар, а сверху вниз – жидкость. В ходе движения и взаимодействия фаз происходит насыщение паровой фазы легколетучими компонентами, а жидкой – труднолетучими. Многократный обмен позволяет получать вещества с требуемой степенью обогащения.

Достаточно много работ посвящено математическому описанию и моделированию сложного процесса, протекающего в колонне при ректификации. Представляемый доклад относится к данному виду работ.

В ходе исследований нами, с использованием трехмерной модели ректификационной колонны, проведен расчет гидравлических характеристик жидкой и паровой фаз. При этом, колонна представлялась как цилиндр заполненный насадкой. Скорость рассчитывалась для обеих фаз как для нестационарного, начального, этапа работы колонны, так и для стационарного режима ее функционирования, в предположении, что движение происходит по сухой насадке, то есть встречная фаза отсутствует. Оценка давления проводилась только при стационарных условиях протекания процесса.

В результате расчета установлено, что время выхода у паровой фазы на стационарное состояние меньше, чем у воды. Показано, что при величине расходе пара 0,5 г/с максимальная его скорость в стационарном режиме работы колонны составляет 0,7 м/с, что хорошо согласуется с имеющимися в литературе данным.

Таким образом, показано, что разработанная модель позволяет адекватно рассчитывать кинетические параметры потоков фаз в ректификационной колонне и ее можно рекомендовать для расчета подобных обменных систем.

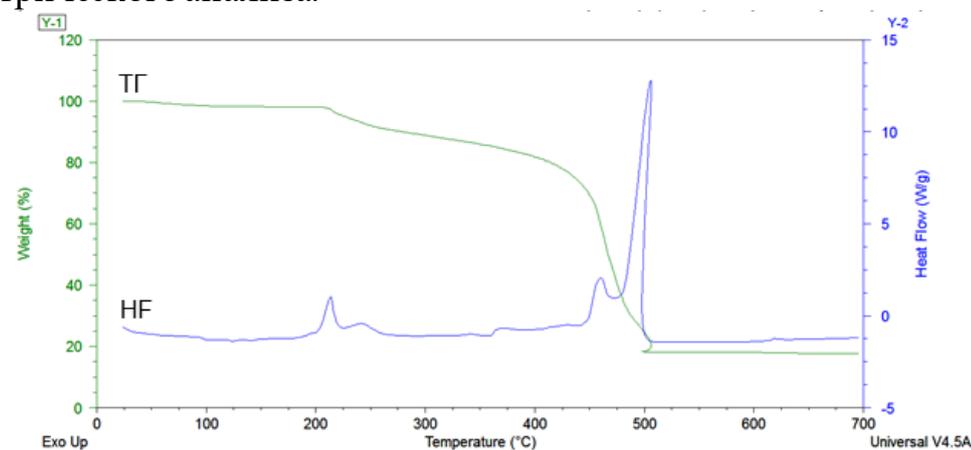
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА НАГРЕВА ОБРАЗЦОВ, СОДЕРЖАЩИХ СТЕАРАТ НАТРИЯ В КАЧЕСТВЕ ПЛАСТИФИКАТОРА

Борецкий Е.А.

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

При подготовке к эксперименту по изучению влияния нагрева образцов, подверженных фабрикации, необходимо было рассмотреть влияние температуры на свойства отдельных компонентов, входящих в состав пресс-порошка, в частности – стеарата натрия [1].

Был проведен термогравиметрический анализ стеарата натрия ($C_{17}H_{35}COONa$), используемого в качестве пластификатора. Исследуемый образец линейно нагревался в атмосфере воздуха. Скорость прироста температуры составляла 5 град.мин^{-1} . На рисунке представлены результаты термогравиметрического анализа.



Кривая ТГ (показывает зависимость массы образца от его температуры) рассматриваемого образца, анализируемого на воздухе вероятнее всего обусловлена совокупностью процессов плавления [2] стеарата натрия (экзотермический эффект на кривой НФ при $213 \text{ }^\circ\text{C}$) и разрушения ионов стеарата с экзотермическим эффектом при $460 \text{ }^\circ\text{C}$ и дальнейшим окислением металлического натрия (экзоэффект при $506 \text{ }^\circ\text{C}$).

По результатам термогравиметрического анализа был определен следующий режим нагрева образцов, в состав которых входит стеарат натрия: нагрев до температуры $500 \text{ }^\circ\text{C}$ с выдержками по времени при $105 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ }^\circ\text{C}$, $250 \text{ }^\circ\text{C}$, $440 \text{ }^\circ\text{C}$, $480 \text{ }^\circ\text{C}$. Скорость нагрева – $2 \text{ }^\circ\text{C/мин}$.

1. Борецкий Е. А. Разработка процесса нагрева образцов технического углерода, подверженного фабрикации // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 26-29 октября 2020. - Томск: ТПУ, 2020 - С. 61.
2. Wendlandt W. W. Thermal methods of analysis. – 1974.

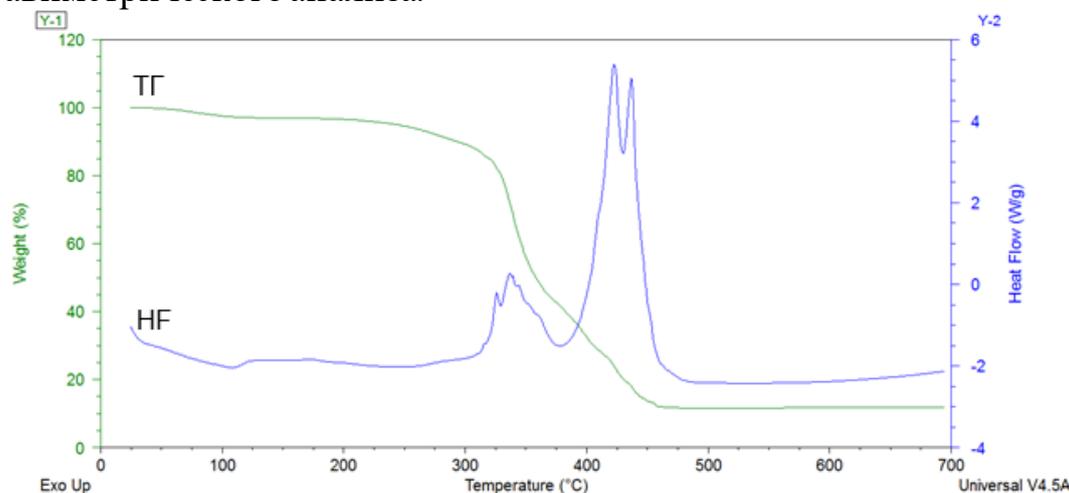
ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ПРЕСС-ЗАГОТОВОК СО СТЕАРАТОМ НИКЕЛЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Борецкий Е.А.

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

При подготовке к эксперименту по изучению влияния нагрева образцов, подверженных фабрикации, необходимо было рассмотреть влияние температуры на свойства отдельных компонентов, входящих в состав пресс-порошка, в частности – стеарата никеля [1].

Был проведен термогравиметрический анализ стеарата никеля ($\text{Ni}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$), используемого в качестве пластификатора. Исследуемый образец линейно нагревался в атмосфере воздуха. Скорость прироста температуры составляла 5 град. мин^{-1} . На рисунке представлены результаты термогравиметрического анализа.



Кривая ТГ рассматриваемого образца, нагрев которого проводился в атмосфере воздуха может быть обусловлена совокупностью процессов перестройки структуры [2] (эндотермический эффект на кривой НФ при $107 \text{ }^\circ\text{C}$), окислением продуктов разложения (экзотермические пики в области от $316 \text{ }^\circ\text{C}$ до $359 \text{ }^\circ\text{C}$), плавлением стеарата никеля (эндотермический эффект при $378 \text{ }^\circ\text{C}$), с образованием металлического никеля (экзотермический эффект при $423 \text{ }^\circ\text{C}$) и его дальнейшим окислением (экзотермический эффект при $437 \text{ }^\circ\text{C}$).

По результатам термогравиметрического анализа был определен режим нагрева образцов со стеаратом никеля: скорость нагрева – $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ с выдержками по времени при $100 \text{ }^\circ\text{C}$, $300 \text{ }^\circ\text{C}$, $330 \text{ }^\circ\text{C}$ и $400 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Борецкий Е. А. Разработка процесса нагрева образцов технического углерода, подверженного фабрикации // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 26-29 октября 2020. - Томск: ТПУ, 2020 - С. 61.
2. Wendlandt W. W. Thermal methods of analysis. – 1974.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫХОДА ВОДОРОДА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБМЕННОГО ПРОЦЕССА В ГАЛЛАМНЫХ СИСТЕМАХ

Видяев Д.Г.,¹ Верхорубов Д.Л.²

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

²ООО «Фокс», г. Томск

E-mail: ozushnik@gmail.com

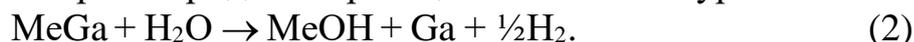
Все возрастающие требования к экологической безопасности производственных технологий стимулируют поиск новых обменных систем, обеспечивающих сокращение вредных для окружающей среды выбросов. Представленные в докладе результаты исследований связаны с разработкой нового галламно-обменного метода разделения щелочных металлов и их изотопов [1]. Данный метод рассматривается нами как альтернативный амальгамно-обменному, использующему в больших количествах высокотоксичную ртуть.

В основе исследуемого обменного метода лежит реакция химического обмена между раствором щелочного металла и его жидким сплавом с галлием (галламой):



где Me_1 и Me_2 – два взаимодействующих щелочных металла или изотопы одного металла; $(Me_{1,2})_{p-p}$ – раствор соответствующего металла.

При организации процесса разделения в насадочных колоннах необходимо учитывать, что параллельно обмену протекает реакция разложения галламы, химическая формула и скорость которой зависит от природы растворителя. В случае водного раствора данная реакция описывается уравнением:



Видно, что в результате реакции (2), сокращается поток галламы. Кроме того, выделяющийся в ходе реакции водород движется вверх по колонне и оказывает гидравлическое сопротивление нисходящему потоку галламы, а также служит причиной смещения концентраций в продольном направлении колонны, что отрицательно сказывается на кинетических параметрах обменного процесса.

В связи с этим, были проведены теоретические и экспериментальные исследования кинетики процесса разложения галлам лития, калия и натрия в воде и водных растворах гидроксидов. Получены формулы, описывающие зависимость скорости разложения галлам щелочных металлов от температуры и концентрации растворов гидроксидов.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены сведения, позволяющие провести оценку влияния на обменный процесс выделяющегося водорода и повысить эффективность разрабатываемого галламно-обменным способ разделения щелочных металлов и изотопов.

1. Тихомиров И.А., Орлов А.А., Видяев Д.Г. Разделение щелочных металлов // Журнал прикладной химии. – 2003. – Т. 76, № 6. – С. 888–891.

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ДИФфуЗИИ ВОДОРОДА В ТАБЛЕТИРОВАННЫЙ УГЛЕРОД

Борецкий Е.А.,¹ Иванов В.И.,¹ Савостиков Д.В.²

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

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

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 40

E-mail: vii7@tpu.ru

Одним из альтернативных видов энергетики является водородная энергетика. При этом наиболее безопасным вариантом для хранения запаса водорода представляется использование углеродных сорбентов [1]. Важной проблемой, затрудняющей развитие данного способа, является низкая скорость накачки водорода в углеродный материал, что требует увеличения времени заправки. Для повышения скорости адсорбции водорода углеродным материалом можно проводить данный процесс с углеродом, спрессованным в таблетки, что обеспечит получение устойчивой пористой структуры, и газом в атомарном состоянии, что существенно уменьшит время его диффузии в структуру материала.

Известно, что в роли вспомогательных веществ, способствующих диссоциации молекул водорода на атомы, могут выступать ионы металлов, в частности Fe, Ni, Mo, Ti, Pt. Введение указанных металлов осуществляется на стадии приготовления прессовочной смеси.

В данной работе приведены результаты теоретических расчетов коэффициентов диффузии водорода в углеродный материал с включенным никелем и оценки результатов получения прессовочных смесей.

В результате расчетов установлено, что величина коэффициента диффузии составляет $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и возрастает с увеличением температуры.

Анализ процесса получения прессовочных смесей показал, что можно получать равномерное распределение вводимого вспомогательного материала при использовании мокрого способа перемешивания.

Таким образом, представляются перспективными дальнейшие исследования сорбции водорода углеродными таблетками с никелем.

1. Видяев Д.Г., Борецкий Е.А., Верхорубов Д.Л. Определение сорбционных свойств наноразмерных материалов // Альтернативная энергетика и экология. – 2015 – №. 23. – С. 73–77.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ПРЕСС-ПОРОШКОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЮ РАЗВИТОЙ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Борецкий Е.А.¹, Иванов В.И.¹, Савостиков Д.В.²

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

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

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск пр. Ленина, 40

E-mail: vii7@tpu.ru

Количество адсорбированного водорода линейно зависит от величины удельной поверхности материала-сорбента. Следовательно, увеличение площади удельной поверхности является одним из способов повышения количества адсорбированного газа в материале. Для создания развитой пористой структуры применяются специальные вещества – порообразователи.

В работе [1] показано, что в качестве порообразователей возможно применять материалы-пластификаторы. При нагреве пластификаторы испаряются и уносятся из объема исследуемого материала. Таким образом увеличиваются пористость материала и свободная площадь, доступная для взаимодействия с водородом.

При изготовлении углеродных таблеток, используемых для сорбции водорода [2], в качестве пластификаторов было решено выбрать стеараты натрия ($C_{17}H_{35}COONa$) и никеля ($Ni(C_{17}H_{35}COO)_2$), так как при их нагреве и последующем испарении, в отличие от восков и парафинов, не остается следов органики.

Массы компонентов, используемых при подготовке пресс-порошков, определялись исходя выбранной массы одной таблетки. Было решено использовать для изучения образцы на основе пресс-порошков, состав которых представлен в таблице.

Номер смеси	Состав смеси
1	C (углерод технический)
2	C + 3 % $2C_{17}H_{35}COONa$
3	C + 5 % $2C_{17}H_{35}COONa$
5	C + 3 % $Ni(C_{17}H_{35}COO)_2$
6	C + 5 % $Ni(C_{17}H_{35}COO)_2$

В соответствии с таблицей определялось общее количество технического углерода, необходимое для всех экспериментов и количество пластификатора каждого вида.

1. Use of triethylcitrate plasticizer in the production of poly-L-lactic acid implants with different degradation times / S.M.N. Scapin, D.R.M. Silva, P.P. Joazeiro, M.C. Alberto-Rincon, R.M. Luciano, E.A.R. Duek // Journal of Material Science: Materials in Medicine. – 2003. – Vol.14, №7. – P.635-640.

ASSESSMENT OF APPLICATION OF HFT-PLASMATRONS FOR PLASMA RECYCLING OF COMBUSTIBLE WASTE IN CLOSED NFC

Tikhonov A.E.

Electrochemical plant, Zelenogorsk

E-mail: aet13@tpu.ru

Reprocessing of spent nuclear fuel (SNF) for the purpose of extracting U and Pu from it with their subsequent transformation into a finished product (MOX-fuel) for the manufacture of fuel rods is an important link in the Russian closed nuclear fuel cycle (NFC) being created.

The basis of the technology for reprocessing of SNF from radiochemical plants in the world is the PUREX-process, which provides a high degree of extraction of U and Pu and purification from fission products. For the extraction of plutonium and uranium from nitrate acid solutions of SNF, tributyl phosphate (TBP) compositions with various diluents (kerosene, hexachlorobutadiene, etc.) are used, which eventually lose their effectiveness under the action of irradiation and turn into combustible waste (CW SNF) [1].

According to the current technology, these wastes are subject to underground disposal [1], which can lead to a significant deterioration of the ecological situation in the region.

In this regard, it is of interest to utilize such wastes in low-temperature plasma produced with plasma generators – plasmatrions [2]. As shown in [3], a significant reduction in energy consumption for the disposal of such wastes can be achieved by plasma processing in the form of dispersed combustible water-organic solutions that are optimal in composition.

The paper presents the results of studies of electrophysical, gas-dynamic and other modes of operation of a plasma module, which includes HF-generator, HFT-plasmatron, reactor, dispersing unit, unit for “wet” cleaning, gas analyzer, high-precision digital pyrometer, Pitot tube, high-pressure exhaust fan.

As a result of the studies carried out on the model wastes, the operating modes of the HFT-plasmatron were determined, which are necessary for “ignition” in the reactor of a combustible water-organic solutions and bringing the combustible waste to the optimal mode of plasma combustion.

The results of the research can be used to create technology and industrial installations based on HFT- plasmatrions designed for efficient plasma utilization of combustible waste from processing of SNF from a closed NFC, as well as other liquid radioactive waste.

1. Skachek M.A. Treatment of spent nuclear fuel and radioactive waste from NPP. – Moscow: Publishing house MEI, 2007. – 448 p.
2. Krapivina S.A. Plasmachemical technological processes. – Leningrad.: «Chemistry», 1981. – 104 p.
3. Novoselov I.Yu., Podgornaya O.D., Sholgauev E.E., Karengin A.G., Kokarev G.G. Investigation of the process of immobilization of nuclear fuel waste in metal chlorides in the air plasma of an HFT-discharge // Russian Physics Journal. – 2014 - Vol. 57. – Iss. 2/2. – P. 22-25.

Секция 4

**ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТОПНО-
МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

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

ДОКЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ МЕЧЕННЫХ ¹²³I РЕКОМБИНАНТНЫХ АДРЕСНЫХ МОЛЕКУЛ ДЛЯ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ГИПЕРЭКСПРЕССИЕЙ HER-2/NEU

Семенов А.С.¹

Научные руководители: Скуридин В.С.², д.т.н., профессор, Толмачев В.М.², д.м.н., профессор, Деев С.М.², д.б.н., профессор, Юсубов М.С.², д.х.н., профессор

¹АО «ТомскНИПИнефть», 634027 Россия, г. Томск, пр. Мира, 72

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

E-mail: semenovas@tpu.ru

На протяжении двух последних десятилетий особый интерес представляет получение меченных радионуклидами антител. Меченные радиоактивным изотопом антитела могут использоваться для диагностики пациентов, имеющих опухоли, специфичные к конкретным антигенам, и могут иметь преимущества для направленной (таргетной) терапии [1,2].

В настоящей работе проведены исследования по разработке методики меченного йодом-123 рекомбинантных адресных молекул DARPin9_29, специфичных к онкомаркеру HER2/neu, и проведены их биологические испытания.

Изучение биораспределения меченного DARPin9_29 проводили на интактных крысах-самцах линии Вистар. При изучении фармакокинетики и следуемого радиотрейсера DARPin9_29, меченного ¹²³I, было отмечено быстрое выведение трейсера из кровотока, а также относительно невысокие показатели накопления изучаемого соединения в лёгких, печени, селезёнке, костях. Наблюдалось отчетливое накопление радиотрейсера в желудке и значительное накопление в почках, что предполагает путь почечной экскреции. У контрольной группы также наблюдалось поглощение в щитовидной железе. В обеих группах поглощение в почках существенно снижалось через 4 часа.

Проведенные исследования показали, что синтезированный радиотрейсер DARPin9_29, меченный ¹²³I, имеет высокий клиренс крови и низкое удерживание в экскреторных органах. Выводится в основном почками путем клубочковой фильтрации. Данные по его биораспределению указывают на благоприятные предпосылки для дальнейшего доклинического изучения радиотрейсера.

1. Петровская Л.Е., Шингарова Л.Н., Долгих Д.А. и пр. Альтернативные каркасные белки // Биоорганическая химия. – 2011. – Т. 37. – № 5. – С. 581–591.
2. Полянский О.Л., Лебедево Е.Н., Деев С.М. ERBB онкогены – мишени моноклональных антител // Биохимия. – 2012. – Т.3. № 77. – С. 289–311.

МИГРАЦИЯ ВОДОРОДА В СИСТЕМЕ ВОДОРОД-ТИТАН

Ларионов В.В., Сюй Ш., Нерода А.А.

Научный руководитель: Ларионов В.В., профессор

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

E-mail: isxusp@qq.com

В настоящее время исследование процессов наводороживания, хранения и извлечения водорода из различных материалов является актуальной задачей. Для создания неоднородности концентрации водорода (Н) применили барьерное напыление на поверхность технического титана ВТ1-0 пленкой TiN. После чего пластину на 1/10 часть наводороживали по методу Сивертса, создавая, таким образом, градиент концентрации Н в материале по координатам X и Y. Пластины помещали в магнитное поле различной частоты и интенсивности. Интегральное содержание Н исследовали методом термоэдс. Отклик системы на воздействие магнитным полем определяли вихретоковым датчиком [1]. Термоэдс измеряли на установке с электродом из золота. Отличие величины термоэдс с пленкой TiN и без пленки до наводороживания достигает значения более 0,18 мВ. Максимум напряжения на датчике магнитного спектрометра при миграции смещается противоположно градиенту концентрации Н в титане. Его положение зависит от частоты возбуждающего магнитного поля и глубины проникновения поля в материал (рис. 1). Коэффициент диффузии определен по формуле Бэррера. Коэффициенты диффузии для частот 150 кГц и 350 кГц для координат 4 и 5 см равны: $D_1 = 4.5 \cdot 10^{-11}$ м²/с; $D_2 = 3.1 \cdot 10^{-11}$ м²/с. Различие вызвано изменением концентрации водорода в слоях. Это характерно и для других координат образца.

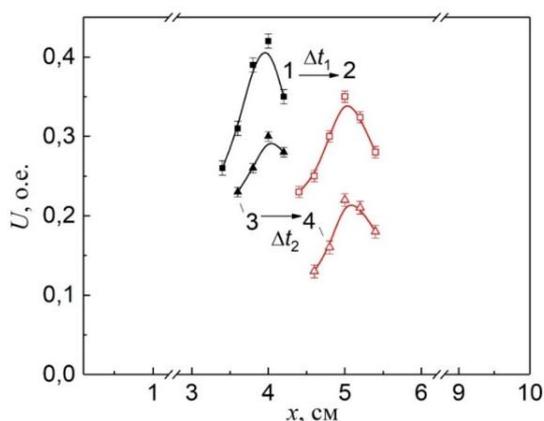


Рисунок 1. Изменение сигнала на датчике при воздействии на титан ВТ1-0 высокочастотным магнитным полем (1, 2 – $f = 350$ kHz; 3, 4 – $f = 150$ kHz, $\Delta t_1 = 96$ час $\Delta t_2 = 144$ час).

Метод можно использовать для оценки накопления водорода в металлах в условиях перехода металла из одного состояния в другое, а также в целях контроля состояния системы водород-металл. Данный способ может быть внедрен для лабораторного и промышленного контроля.

1. S. Xu, Larionov V. V., Lider A. M. Dielectric Losses in Hydrogen-Saturated VT1-0 Titanium Induced by Eddy Current Propagation // Technical Physics. – 2020. – Vol. 65, № 1. – P. 93–95. – DOI: 10.1134/S1063784220010260.

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОТОПНЫХ СТРУКТУР МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ «ГОРЯЧЕЙ» МИШЕНИ

Шикерун К.Т.

ООО «Русатом-Аддитивные Технологии» Москва, Каширское ш. 49,
стр. 61

E-mail: Shikerunk@gmail.com

В настоящее время для металлизации поверхности материалов и изделий часто прибегают к магнетронным распылительным системам (МРС). Параметры, при которых проходит процесс магнетронного распыления в среде аргона, зависят от характеристик конструкции диода, величины и формы распределения индукции магнитного поля, рабочего давления, материала мишени. Эти параметры оказывают значительное влияние на скорость роста покрытий и их физико-химические свойства.

В конструкциях МРС, где охлаждение распыляемой мишени снижено или отсутствует, существует дополнительный фактор – температура мишени, который также может вызывать изменения параметров процесса распыления. Однако при распылении «горячей» металлической мишени магнетрона создаётся дополнительный источник энергии в область подложки за счёт теплового излучения мишени. Вклад теплового излучения в общий поток энергии может быть весьма значителен.

Ферромагнитная мишень представляет из себя шунт для магнитной системы магнетрона. Это приводит к низкому коэффициенту использования материала мишени при получении ферромагнитных плёнок.

Ni относится к классу ферромагнитных материалов, его температура в точке Кюри невелика (627К). Это открывает возможность для получения покрытий путём магнетронного распыления парамагнитной Ni мишени. Положительный эффект от использования «горячей» Ni мишени будет наблюдаться только в том случае, когда вся мишень будет переведена в парамагнитное состояние, а не только её приповерхностный слой. Поэтому важно контролировать распределение температуры в объёме никелевой мишени. Процесс распыления нагретой ферромагнитной мишени характеризуется условиями, близкими к условиям для распыления парамагнитных материалов, например, Ti, Al или Cu.

В докладе обсуждаются возможность формирования пространственного распределения изотопов в формируемой плёнке при использовании мишеней природного изотопного состава. Предлагается использовать парамагнитные явления в слабом магнитном поле, формируемом на поверхности подложки. Для этого может быть использована интерференционная картина, формируемая с помощью мощных лазеров. Магнитное поле (светового излучения) позволяет управлять временем диффузии напыляемых изотопов по поверхности горячей подложки. Исследования направлены на моделирование процесса диффузии изотопов по поверхности формируемой плёнке.

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ГОДОВОЙ ТРЕНД РАДИАЦИОННОГО ФОНА ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Чуприна А.Б., Чуприна А.В., Беляева И.В.

Научный руководитель: Яковлева В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: abc@tpu.ru

Индикаторные свойства радионуклидов и ионизирующих излучений известны и активно используются уже более века для получения новых знаний о динамических процессах, происходящих в атмосфере и верхних слоях литосферы, для оценки физических характеристик различных сред и материалов, а также для прогнозирования опасных природных и техногенных явлений.

Радиационный фон приземной атмосферы начали активно контролировать еще с середины 20 века в связи с начавшимися массовыми испытаниями ядерного оружия. Поэтому, на настоящий момент гамма – фон приземной атмосферы является самой изученной радиационной величиной. Несмотря на это, в настоящее время в связи с усугублением экологической ситуации на планете возникают новые задачи, требующие иного подхода к радиационному мониторингу, а также нового взгляда на решение проблем радиационной экологии.

Известно, что атмосферный радиационный фон формируется, в основном, почвенными радионуклидами, находящимися в верхнем слое литосферы. В зимний период, основной источник атмосферного радиационного фона экранирован снежным покровом, который с течением зимнего периода возрастает, следует ожидать его снижение за счет поглощения фотонов и электронов в слое снега. В то же время, в зимний период изменяются основные метеорологические параметры, такие как температура, давление, изменяется состояние атмосферы. Все эти факторы приводят к увеличению плотности атмосферного воздуха, и снижению длины пробега ионизирующих частиц.

Целью настоящей работы является исследование оценки влияния метеорологических параметров на годовой тренд радиационного фона приземной атмосферы.

В результате выполненной работы были проанализированные данные радиационного мониторинга с использованием сцинтилляционных детекторов гамма - и рентгеновского излучения, совместно с данными о метеорологических величинах. Связь между метеорологическими величинами определяли с помощью регрессионного анализа. При анализе данных использовали различный временной масштаб и разное усреднение данных мониторинга. Регрессионный анализ показал, что связь гамма - фона с температурой и давлением атмосферы слабая, а с параметрами снежных осадков – значимая.

Результаты настоящего исследования показали, что именно снег задает годовой тренд атмосферного радиационного фона.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛАГОЗАПАСА СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Петракова Н.В., Чуприна А.В., Беляева И.В.

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

На протяжении длительных многолетних наблюдений за радиационным фоном приземной атмосферы было обнаружено, что гамма-фон является не постоянной величиной, а меняется во времени. Можно выделить закономерность, связанную с сезонными и суточными колебаниями. Ранее для оценки сезонной динамики радиационного фона использовали корреляционный анализ, который показал значительную корреляцию с количеством выпавших осадков.

Это обстоятельство позволяет предложить использовать данные радиационного мониторинга приземной атмосферы для определения количества снежных осадков.

Для этой цели использовали результаты радиационного мониторинга приземной атмосферы, полученные в Томской обсерватории радиоактивности и ионизирующих излучений (ТОРИИ) с использованием блоков детектирования гамма-излучения БДКГ-03, установленных на высотах 1, 5 и 25 м от земной поверхности. Анализ данных мониторинга в ТОРИИ позволил выявить взаимосвязь между мощностью дозы гамма-излучения в атмосфере и влагозапасом снежного покрова (рис 1.). Влагозапас был рассчитан по данным, находящимся в свободном доступе, о снежных осадках с сайта ООО «Расписание Погоды» (<https://rp5.ru/>). Мощность дозы гамма-излучения в приземной атмосфере в течение зимнего периода (рис 1а) снижается практически экспоненциально с ростом влагозапаса (водного эквивалента снега) (рис. 1б) вплоть до начала таяния снега. После полного схода снежного покрова мощность дозы гамма-излучения возрастает до значений, наблюдаемых в теплый период года.

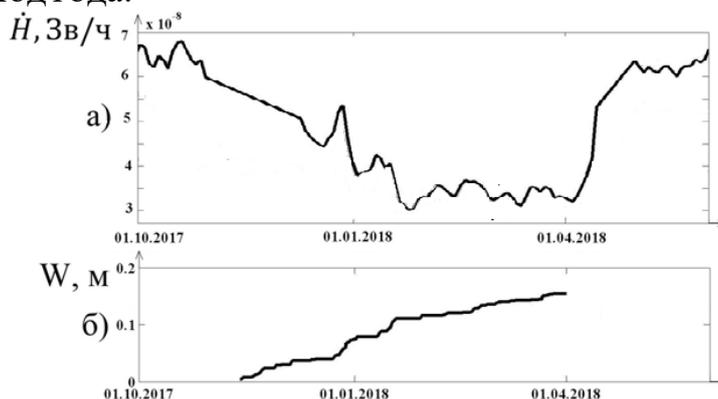


Рис. 1. Динамика мощности дозы гамма-излучения в приземной атмосфере (а) и влагозапаса снежного покрова (б) в зимний период 2017-2018 г.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО И ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД Г. ТОМСКА НА КОЛИЧЕСТВО ЭМАНИРУЮЩЕГО С ИХ ПОВЕРХНОСТИ РАДОНА

Ложников Ф.И.¹, Ставицкая К.О.², Альмяков П.Э.³

Научный руководитель: Рыжакова Н. К.³, к. ф.-м. н., доцент

¹Томский государственный университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 32

²Лечебно-диагностический центр Мед. институт биологических систем
им. С. Березина, 630008, г. Новосибирск, ул. Б.Богаткова, 109

³Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: philiplozhnikov13@mail.ru

В России, в соответствии с нормативными документами, перед проведением строительных работ проводят измерения плотности потока радона (ППР) [1]. Использование ППР как критерия радоноопасности участка застройки является вполне обоснованным, так как эта величина определяет количество радона, выделяющегося с поверхности пород. Наиболее распространенными в природе являются осадочные породы, которые состоят, как правило, из нескольких компонентов [2]. Обычно в состав осадочных пород в различных соотношениях входят глинистые частицы с размерами менее 0.005 мм, пылеватые частицы с размерами от 0.05 ю 0.005 мм, песчаные частицы с размерами от 0.05 до 1 мм, а также крупные обломочные породы.

Виды пород г. Томска отобраны на 11-ти экспериментальных площадках, их вещественный и дисперсный состав определены в грунтоведческой лаборатории АО «ТомскТИСИЗ». Изучение влияния дисперсного и вещественного состава осадочных пород на результаты измерения ППР проведено с помощью регрессионного анализа. Показано, что возрастание значений ППР происходит с увеличением средних размеров зерен породы (рис. 1), а также с увеличением доли песчаных частиц с размерами 0.25-0.1 мм (рис 2). Обнаружено также влияние содержания мелких глинистых и пылеватых частиц – с увеличением их доли происходит уменьшение выхода радона с поверхности пород.

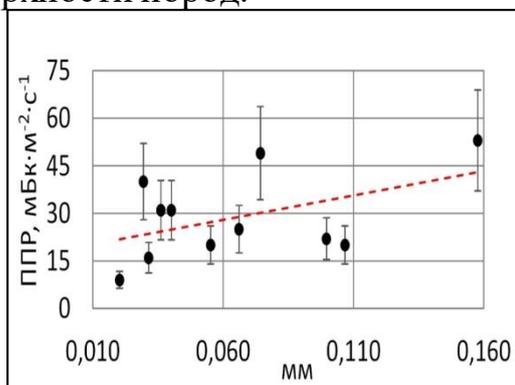


Рис. 1 Средние размеры зерен рыхлых осадочных пород г. Томска

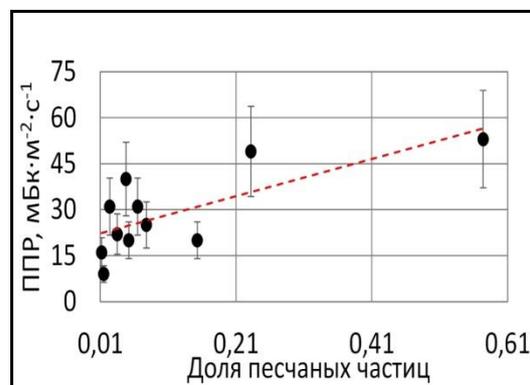


Рис. 2 Доля песчаных частиц с размерами 0.25-0.1 мм

1. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства «Инженерно-экологические изыскания строительства» СП 11-102-97. М.: Госстрой России, 1997.
2. Рухин Л.Б. «Учение об осадочных породах». – Л. : Недра, 1969 – 703с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА РАДОНЫ ДЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД Г. ТОМСКА И ГОРНОГО АЛТАЯ

Ставицкая К.О.¹, Ложников Ф.И.²

¹Лечебно-диагностический центр Мед. институт биологических систем им. С. Березина, 630008, г. Новосибирск, ул. Б.Богаткова, 109

²Томский государственный университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 32
shilovaxeniya@gmail.com

Основным источником радона, поступающего в помещения, являются залегающие в основании фундаментов зданий породы. Наличие повышенных концентраций этого газа в помещениях приводит к высокому риску возникновения онкологических заболеваний органов дыхания [1]. В РФ для оценки радоноопасности участка застройки используют плотность потока радона (ППР), которая по величине равна активности радона, эманурующего с 1 метра квадратного за 1 с. Измерения ППР проведены в весенне-летние периоды 2014 – 2020 гг. на 17-ти площадках г. Томска и 7 площадках Горного Алтая двумя аттестованными методами – методом накопительной камеры и методом угольных адсорберов. При реализации метода НК использован измерительный комплекс Альфа рад Плюс, для метода УА - измерительный комплекс Камера-01.

За время наблюдений получено 550 результатов измерений ППР. В г. Томске измерения провели для наиболее распространенных осадочных пород: суглинков, глин, глинистых сланцев, супесей и песчано-гравийных отложений; в Горном Алтае - на поверхности песчано-гравийных смесей, глинистого и скального известняка, андезитно-базальтового порфирита и кварцита. Для разных типов осадочных пород г. Томска средние значения ППР сравнительно невелики и не превышают нескольких десятков мБк²с⁻¹. Наименьшее среднее значение, равное 9 мБк²с⁻¹, получено для суглинка тяжелого пылеватого, наибольшее – 56 мБк²с⁻¹ для белой глины. Породы Горного Алтая характеризуются высокими значениями плотности потока радона. Более высокие значения ППР для гравийно-галечных отложений (100-200 мБк²с⁻¹) по сравнению с результатами, полученными в г. Томске для этих типов пород, можно объяснить тем, что на территории Горного Алтая наблюдаются глубинные разломы и трещины, через которые происходит выделение мантийных флюидов, в том числе радона [2]. Самые большие средние значения получены для кварцита (810 мБк²с⁻¹) и порфирита (760 мБк²с⁻¹). Столь высокие значения ППР для этих пород обусловлены их высокой плотностью и низкой гигроскопичностью. На поверхности зерен таких пород отсутствует водная пленка, наличие которой препятствует выходу радона из породы.

1. Исаченко К.Б., Германова Т.В. Обеспечение радиационной безопасности внутри жилых и административных помещений. Известия ВУЗов. Строительство. 2007, №3.
2. Тектонические покровы Горного Алтая, Буслов М.Н., Труды института геологии и геофизики вып.786, Наука.Сиб.отд-ие, Новосибирск,1992 г, 96с.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА РАДОНА

Ставицкая К.О.¹, Ложников Ф.И.²

¹Лечебно-диагностический центр Мед. институт биологических систем им. С. Березина, 630008, г. Новосибирск, ул. Б.Богаткова, 109

²Томский государственный университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 32
shilovaxeniya@gmail.com

Используемая в Российской Федерации при оценках радоноопасности участков застройки величина плотности потока радона (ППР) зависит от множества факторов, в частности, от физических свойств горных пород [1]. В работе проведено изучение влияния на результаты измерения ППР основных физических свойств рыхлых осадочных горных пород, слагающих территорию г. Томска – влажность, плотность и пористость. Для определения этих свойств на экспериментальных площадках методом режущего кольца [2] отобраны образцы пород: суглинков, глин, глинистых сланцев, супесей и песчано-гравийных отложений. Регрессионный анализ результатов измерения ППР показал, что в условиях природного залегания пород Томска какая-либо общая закономерность изменения ППР в зависимости от их влажности отсутствует. Однако, для рыхлых суглинков с низкой влажностью порядка нескольких процентов удалось выявить наличие максимума. В условиях природного залегания белой глины и суглинка тяжелого пылеватого наблюдается тенденция к убыванию ППР с ростом влажности, что объясняется большей долей хорошо впитывающих влагу глинистых частиц в этих породах.

В отличие от устоявшихся в литературе представлений об увеличении выхода радона с ростом пористости результат наших исследований оказался несколько неожиданным – какой-либо зависимости от пористости мы не обнаружили. В эксперименте нам удалось определить только полную пористость, т.е. долю объема открытых и закрытых пор в объеме образца. Очевидно, выход радона происходит из открытых пор. Отметим, что доля открытых пор меняется в зависимости от погодных условий, в отличие от полной пористости, являющейся неизменной характеристикой породы. Регрессионный анализ усредненных по количеству измерений на каждой площадке значений ППР от плотности сухих осадочных пород показал, что увеличение плотности пород примерно в 1.5 раза приводит к увеличению количества эманирующего с поверхности радона более чем на порядок.

1. G. Ciotoli, Geographically weighted regression and geostatistical techniques to construct the geogenic radon potential map of the Lazio region: A methodological proposal for the European Atlas of Natural Radiation // Journal of Environmental Radioactivity, 2017, V.(166-2), P.355-375.
2. Крамаренко В.В. Грунтоведение: учебное пособие; ТПУ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 431с.

КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА-222 В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Альмяков П.Э., Пластун С.А., Келсингазина Р.Е.

Научный руководитель: Рыжакова Н.К., к. ф.-м. н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: al.pa2014@yandex.ru

Глобальное потепление климата является одной из важнейших проблем современности. Особенно отчётливые проявления данной проблемы наблюдаются в ледниковых зонах земной поверхности. На процессы таяния арктических льдов и вечной мерзлоты существенное влияние оказывает гидрологический режим в шельфовой зоне арктических морей. Океанология прибрежных вод представляет новое научное направление, в рамках которого изучается влияние континентов на гидрологические и биохимические процессы в шельфовых зонах морей. Гидрология прибрежных зон в значительной степени определяется стоками речных и пресных подземных вод. Речные стоки к настоящему времени изучены сравнительно хорошо, проведены оценки объёмов пресной воды, поступающей в шельфовую зону арктических морей. В отношении пресных подземных вод (UGF-underground freshwater) дело обстоит совершенно иначе – до сих пор не изучены их объёмы и участки выхода UGF в мировой океан. Один из основных методов оценки стока FGWR (fresh groundwater runoff) основан на использовании радиоактивных индикаторов, в том числе радона. Радон – радиоактивный инертный газ, образующийся при распаде радия. Радий содержится в горных породах, с которыми контактируют пресные подземные воды. Радон хорошо растворяется в воде, поэтому непрерывное поступление радона из пород приводит к обогащению пресных грунтовых вод этим газом. В силу инертности этот газ не вступает в химические реакции и его концентрацию в морской воде легко измерить. В ходе 78-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» осенью 2019 г. был проведён радиометрический анализ проб воды, отбор которых производился с помощью батометров на 14-ти гидрологических станциях. Измерения концентрации радона и в пробах воды проведены с помощью радиометра *Rad7* по методике *RadSodaBottleKit(3DPrintedAeratorCap)* [2]. На станциях, расположенных вдоль береговой линии в районе дельты реки Лена, в поверхностных водах обнаружены низкие концентрации Rn-222, не превышающие 1 Бк*м⁻³. С удалением от береговой линии наблюдается тенденция к увеличению концентрации этого изотопа.

1. Компания – производитель Rad7 - DurrIDGE. – Режим доступа: <http://durrIDGE.com/products/rad7-radon-detector/>
2. Компания – производитель Rad7 - DurrIDGE. – Режим доступа: <https://durrIDGE.com/documentation/RAD%20BIGBOTTLESYSTEM%20Manual.pdf>

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ РАДОНООПАСНОСТИ УЧАСТКОВ ЗАСТРОЙКИ И СПОСОБ ИХ РЕШЕНИЯ

Альмяков П.Э.¹ Ставицкая К.О.²

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

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

²Лечебно-диагностический центр Мед. институт биологических систем
им. С. Березина, 630008, г. Новосибирск, ул. Б.Богаткова, 109

E-mail: al.pa2014@yandex.ru

Наиболее значимым природным источником радиоактивного излучения является радон и его дочерние продукты распада [1]. В связи с этим в настоящее время перед началом строительных работ проводится оценка радоноопасности участков застройки. В РФ при проведении оценок измеряют плотность потока на земной поверхности. Данный подход среди специалистов подвергается критике из-за недостоверности получаемых результатов [2]. За рубежом при проведении локальных оценок радоноопасности в середине прошлого века измеряли поровую активность радона на глубинах 0,8 м ... 1 м. Однако по величине объемной активности на таких глубинах нельзя оценить количество радона, выделяющего с поверхности пород. Это количество определяется еще и способностью радона мигрировать к поверхности. В связи с этим во многих странах наряду с измерениями поровой активности радона стали измерять газопроницаемость поверхностных пород. В США и многих странах Европы в качестве критериев радоноопасности используют радоновый индекс либо радоновый потенциал, для которых не существует общепринятого метода расчета. В качестве входных параметров при их определении в разных странах используют различные наборы данных – объемную активность радона в воздухе пор пород, концентрацию радия, особенности геологического строения пород, их газопроницаемости и т.п. Используемые подходы имеют общий недостаток - измерения проводят в слое породы толщиной не более 1 м от земной поверхности. Однако, основание фундаментов зданий располагается обычно на глубинах 1- 5 м, на которых геофизические свойства пород отличаются от свойств поверхностных пород. В проведенных нами исследованиях было показано, что основными факторами, определяющими количество эманлирующего с поверхности радона, являются тип породы и ее геофизические свойства. В связи с этим нами предложен новый подход к оценке радоноопасности участков застройки, основанный на использовании данных проектно-строительных организаций о типах и свойствах пород, залегающих в основании фундамента зданий.

1. Малиновский Г.П., Ярмошенко И.В., Жуковский М.В. Радон, курение и вирус папилломы человека как факторы риска рака легкого в эпидемиологическом исследовании экологического типа. Радиационная гигиена. 2017;10(2):106-114. DOI:10.21514/1998-426X-2017-10-2-106-114.
2. Баннов Ю.А. Лаборатория радиационного контроля ООО "ГЕОКОН". Два года: опыт работы // АНРИ. - 2005. - N 2. - С.54-71.

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОСТИ RA-226 В ГОРНЫХ ПОРОДАХ РАЗНОГО ТИПА

Альмяков П.Э., Черепнев М.С.

Научный руководитель: Рыжакова Н.К., к. ф.-м. н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: al.pa2014@yandex.ru

Образующийся в результате распада Ra-226 инертный радиоактивный газ Rn-222, выделяясь из горных пород, расположенных в основании фундаментов зданий, может накапливаться в помещениях. В связи с этим перед строительством зданий и сооружений проводят радиационно-экологические исследования, включающие в себя оценку радоноопасности участков застройки [1]. В некоторых странах Европы и Америки одним из основных критериев радоноопасности является содержание Ra-226 в подстилающих породах. Целью данного исследования является изучение и сравнительный анализ содержания радия в горных породах разного типа, характерных для населённых территорий. Отбор образцов пород разного типа проводили в летне-осенний период 2018, 2020 г. на 9 и 5 экспериментальных площадках г. Томска и горного Алтая соответственно. Удельную активность Ra-226 измеряли в геометрии сосуда «Маринелли» с объемом 1 л γ-спектрометром на базе полупроводникового детектора из сверхчистого германия (CANBERRA GC2018). Измерения проводили в условиях радиоактивного равновесия по наиболее интенсивным линиям дочерних продуктов распада радона – Pb-214 и Bi-214. Перед измерением породы высушивали при температуре 110°C и измельчали. После чего сосуд «Маринелли» герметизировали и выдерживали в течение трех недель. Время измерения одного образца – один сутки; статистическая погрешность измерений не превышала 2%. Для обработки аппаратурных гамма-спектров использована программа CANBERRA «Genie-2000». Измерения показали, что удельная активность радия в горных породах лежит в небольшом диапазоне от 100 Бк/кг для суглинков до 180 Бк/кг для известняков. Установлено, что содержание радия, измеренное в высушенных и измельченных образцах, не коррелирует с значениями плотности потока радона, измеренными для соответствующих пород в условиях природного залегания. Этот результат обусловлен изменением структуры и влажности пород в процессе подготовки образцов к измерениям. Отсутствие корреляции между количеством эманулирующего с поверхности пород радона и содержанием радия ставит под сомнение использования удельной активности радия в качестве критерия радоноопасности территорий.

1. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства «Инженерно-экологические изыскания строительства» СП 11-102-97. М.: Госстрой России, 1997.
2. Рыжакова Н. К., Ставицкая (Шилова) К.О., Удалов А.А. Новый подход к проблеме оценки радоноопасности участков застройки = A new approach to the problem of assessing the radon hazard of building sites // Радиационная гигиена = Radiatsionnaya Gigena. - 2020 - Т. 13 - №. 2. - С. 57-64. doi: 10.21514/1998-426X-2020-13-2-57-64.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ РАДОНА ПО ГЛУБИНЕ В АКВАТОРИИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Альмяков П. Э., Пластун С. А., Келсингазина Р. Е.

Научный руководитель: Рыжакова Н. К., к. ф.-м. н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: al.pa2014@yandex.ru

В связи с развитием экономики северных территорий России особое внимание уделяется исследованию природно-климатических условий Арктики. В частности, интерес представляют радиоизотопные исследования северных морских вод. Одной из основных задач таких исследований является оценка стока речных и пресных грунтовых вод в российском секторе Арктики. Для решения этой задачи наиболее перспективными признаны исследования, основанные на использовании радиоактивных индикаторов - радона и торона. В ходе 78-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» осенью 2019 г. проведён радиометрический анализ проб воды, отобранных на 14-ти гидрологических станциях в акватории моря Лаптевых с трёх горизонтов (поверхностный слой, придонный слой, слой термо- и галоклинного скачка) при помощи батометров. В ходе экспедиционной работы были получены данные об объёмной активности радионуклидов Rn^{222} (радона) и Rn^{220} (торона) в качестве измерительного оборудования использовался радиометр *Rad7*, который обладает техническими характеристиками, необходимыми для определения объёмной активности радона в воде в условиях его малых концентраций (17 Бк/м³ в 1,5 л объёме) [1]. Для радиометрического анализа отобранных проб воды использовалась методика *RadSodaBottleKit(3DPrintedAeratorCap)* [2]. За всё время наблюдения максимальные значения радона и торона были получены для глубин 14-22 м. районе дельты реки Лены. Наибольшие значения максимальной и средней объёмной активности радона и торона были обнаружены в придонном слое на глубине 14,4 м. Максимальное значение объёмной активности торона достигло 44,2 Бк на 100 л воды при среднем значении 12,9 Бк на 100 л воды. Для радона максимальное значение объёмной активности также составляло 44,2 Бк на 100 л воды, но при среднем значении 8,5 Бк на 100 л воды. Какой-либо общей для всех станций закономерности для концентрации радона и торона в зависимости от глубины обнаружить не удалось, что объясняется перемешиванием морских вод с речными. Однако, с увеличением расстояния от устья реки наблюдается тенденция увеличения концентрации радона и торона с глубиной, что, скорее всего, обусловлено влиянием донных осадков.

1. Компания – производитель Rad7 - Durridge. – Режим доступа: <http://durridge.com/products/rad7-radon-detector/>
2. Компания – производитель Rad7 - Durridge. – Режим доступа: <https://durridge.com/documentation/RAD%20BIGBOTTLESYSTEM%20Manual.pdf>.

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫМИ ИОНАМИ НЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

Кизеева В. Н., Терешкина П.О.

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

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

E-mail: pot2@tpu.ru

Метод модификации – радиационно-индуцированная привитая сополимеризация существующих полимеров и придание им новых свойств без изменения присущих им свойств в настоящее время широко применяются для создания новых функциональных мембран, в частности для формирования протонной проводимости в мембранах для топливного элемента [1].

В этом методе мембрана формируется на основе полимера с помощью излучения высокоэнергетичных заряженных частиц и последующей реакцией полимера с мономером. Выход реакции полимера с мономером существенным образом зависит от количества свободных радикалов, образованных в результате воздействия излучения.

ЭПР – электронно-парамагнитный резонанс это единственный метод дающий количественную информацию о наличии свободных радикалов. В отсутствие метода можно косвенным образом определить состояние структуры облученного полимера, исследуя его структуру различными методами [2].

В данной работе была рассмотрена зависимость влияния облучения высокоэнергетичными ионами гелия на изменение кристалличности полимерной пленки ПВДФ. Для этого данный полимер облучали на циклотроне Р7-М с различными энергиями, затем с помощью методов спектроскопии производили анализ получившейся модифицированной структуры, для качественной оценки изменения пленки.

1 Иванов В. С. Радиационная химия полимеров / В. С. Иванов // Л.: Химия: учеб. Пособ. / В. С. Иванов. 1988. С. 320 .

2 С. А. Альтшулер, Б. М. Козырев, Электронный парамагнитный резонанс. М.: Физматиз, 1961.

МЕТОД ПОИСКА ЛЕГКИХ НЕЙТРОННЫХ КЛАСТЕРОВ В РАСПАДЕ ЯДЕР ^{235}U

Чумаков Д.К., Черепнев М.С.

Научный руководитель: Дудкин Г.Н., к.ф.-м.н., с.н.с.

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

E-mail: dkc1@tpu.ru

Проблеме существования легких нейтронных кластеров (динейтрон, тетранейтрон, гексанейтрон, октанейтрон) более 60-ти лет, но она по-прежнему представляет интерес как в рамках теоретических, так и экспериментальных исследований. Об этом свидетельствуют два больших обзора, вышедшие в этом году [1,2].

В данном эксперименте предлагается использовать метод поиска нейтронных ядер, предложенный в [3]. В этом методе предполагается, что легкий нейтронный кластер при выходе из тяжелого ядра (^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U) рассыпается на k независимых нейтронов, эффективность регистрации которых выше, чем эффективность регистрации нейтронов спонтанного деления вышеупомянутых ядер, со средним числом нейтронов в делении равны $N_n = 2$.

На рис. 1 представлена экспериментальная установка, предназначенная для исследования нейтронных кластеров. Образец эмиттера нейтронов (E) - пленка UO_3 (90% ^{235}U , 10% ^{238}U), содержащий ядра тяжелых распадающихся элементов, помещается между двумя счетчиками нейтронов (ND). Возможный вклад фоновых событий, вызванных в основном космическими мюонами, подавляется с помощью системы антисовпадений со сцинтилляционными детекторами (1-12), окружающими счетчики нейтронов. Выходной сигнал с детекторов регистрируется цифровым осциллографом, а затем информация о зарегистрированных событиях (кратность нейтронов, время появления событий от нейтронов и космики) обрабатывается в реальном времени. Будут представлены конструкция установки и методика исследования.

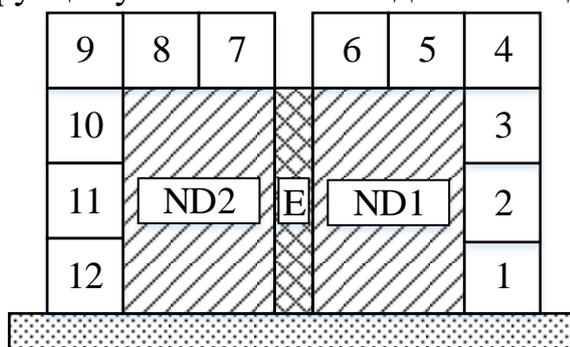


Рисунок 1: Экспериментальная установка для исследования легких нейтронных кластеров: (1-12) – сцинтилляционные детекторы, (ND) – нейтронные детекторы, (E) – эмиттер нейтронов

1. F. Miguel Marqués Eur. Phys. J. Plus 136, 594 (2021)
2. F. Miguel Marqués, J. Carbonell Eur. Phys. J. A 57, 105 (2021)
3. V.M. Bystritsky *et al.* Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 834, 164–168 (2016)

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СКАНИРОВАНИЯ ПУЧКОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗОТОПОВ

Григорьева А.А.¹, Булавская А.А.¹, Милойчикова И.А.^{1,2}

Научный руководитель: Стучебров С.Г.¹, к.ф.-м.н., доцент

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

²Научно-исследовательский институт онкологии Томского НИМЦ РАН,
634009, Россия, г. Томск, пер. Кооперативный, 5

E-mail: agrigorieva@tpu.ru

Стабильные и радиоактивные изотопы используются во многих сферах человеческой деятельности, в том числе в промышленности, науке, ядерной энергетике и медицине [1]. Метод «меченных» атомов, основанный на применении изотопов, используется для понимания процессов распределения веществ в разнообразных системах, например, в медицине «меченные» изотопы используют для проведения скintiграфических исследований. Также нестабильные изотопы могут использоваться в качестве самостоятельных источников радиоактивного излучения, например, в брахитерапии и дистанционной лучевой терапии [2], в диагностическом оборудовании или же для проведения ядерно-физических экспериментов.

В настоящее время для производства изотопов используют исследовательские реакторы и ускорители заряженных частиц [2]. Наибольшее предпочтение при производстве изотопов отдается ускорителям, в виду ряда технических, финансовых и экологических ограничений. Для повышения производительности наработки изотопов, необходимо использовать специализированные ускорители, позволяющие выводить пучки с большими энергиями и средним током. Подобным требованиям отвечают ускорители протонов и ионов.

При проведении работ по наработке изотопов важно обеспечить постоянный высокоточный контроль пространственных характеристик потоков высокоэнергетического излучения. Однако в настоящее время отсутствует единый стандартизированный подход к контролю характеристик адронных пучков. В связи с этим актуальным становится разработка нового устройства, предназначенного для диагностики пространственных параметров пучков протонов и ионов.

В рамках данной работы предлагается разработать метод сканирования адронных пучков, предназначенных для проведения высокоточного контроля пространственных и дозовых характеристик пучков в режиме реального времени.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-00252).

1. Андреев Б. М. и др. Изотопы. – 2005.
2. Денисов Е. И. Производство радиоактивных изотопов для медицинского применения. – 2015.

КОНТРОЛЬ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ РАДИЯ-223

Маренкова Е.А., Неволин Н.Р., Капитонов А.Б

Научный руководитель: Кузнецов М.С., к.т.н., доцент

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

E-mail: eam33@tpu.ru

В настоящее время широко распространена радионуклидная терапия. Одним из перспективных для медицины изотопов является радий-223. Растущий спрос на данный радионуклид требует новых методов получения радия. Важной задачей контроля качества произведенных радиофармпрепаратов является определение радионуклидной чистоты. Одним из неразрушающих методов контроля изотопного состава медицинских образцов может быть гамма-спектрометрия. В работе рассмотрен качественный анализ четырех образцов на основе радия-223, отличающихся удельной активностью на дату измерения. Измерения проведены на коаксиальном германиевом детекторе Canberra GC1518; анализ спектров выполнен с помощью программного обеспечения Genie-2000. Эксперимент содержит две серии измерений в разное время: 09.12.2020 и 18.12.2020. Живое время набора спектра – 15 минут. Параметры процедур анализа спектров гамма-излучения: допуск при поиске пиков 3 кэВ, пороговый уровень значимости при поиске пиков 2 %.

Для определения возможных примесей в работе рассмотрены методы получения изотопа радия-223: облучение мишеней из природного тория ускоренными протонами [1] и облучение мишеней из радия-226 тепловыми нейтронами [2]. Из облученных мишеней выделяется изотоп актиния-227, который является генератором радия-223.

На основании экспериментальных измерений препаратов радия определен план измерений и анализа спектров гамма-излучения для определения изотопной чистоты растворов:

- анализ спектров по библиотеке, содержащей только целевой радий и его продукты распада, определение неидентифицированных пиков, проверка пиков суммирования;
 - анализ спектров по библиотеке, содержащий целевой радий, его материнские и дочерние изотопы, проверка интерферирующих пиков радия-223 и тория-227 по площадям пиков 235,97 кэВ (12,3 %), 256,25 кэВ (7,0 %), 329,85 кэВ (2,7 %);
 - проверка пика 84 кэВ тория-228, проверка его продуктов распада;
 - проверка присутствия других изотопов тория и продуктов распада.
1. Васильев А. Н. Получение ^{225}Ac и ^{223}Ra из облученного протонами средних энергий природного тория / Васильев, А. Н., Остапенко, В. С., Ермолаев, С. В., Лапшина, Е. В., Калмыков, С. Н. // ФИЗИКОХИМИЯ-2015. – 2015. – С. 90-91.
 2. Кузнецов Р. А. Получение альфа-излучающих нуклидов облучением ^{226}Ra в высокопоточном реакторе см / Кузнецов, Р. А., Буткалюк, П. С., Буткалюк, И. Л., Тарасов, В. А., Романов, Е. Г., Баранов, А. Ю. // Сборник трудов АО ГНЦ НИИАР. – 2015. – №. 1. – С. 23-30.

ИСТОЧНИК ДЛЯ IN-SITU ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ТЕРМИЧЕСКИХ И ВОДОРОД-ИНДУЦИРОВАННЫХ ДЕФЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИЗОТОПА CU-64

Попов А.В., Бордулев Ю.С., Ушаков И.А.

Научный руководитель: Лаптев Р.С., к.т.н., доцент

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

E-mail: avp68@tpu.ru

Работа направлена на создание метода контроля дефектной структуры твердых тел in-situ в условиях нагрева и насыщения водородом. В основу методики лег метод спектрометрии Доплеровского уширения аннигиляционной

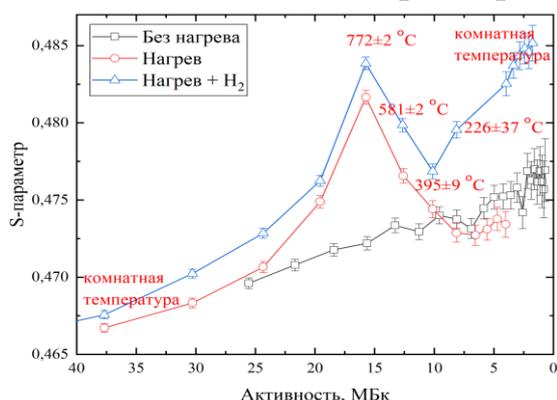


Рисунок 2. Зависимость S- параметра от активности источника ⁶⁴Cu для образцов Ti

линии (ДУАЛ). В качестве материала для испытаний использовались образцы титана. Источник позитронов, используемый в данном исследовании был получен активацией медной фольги в потоке тепловых нейтронов исследовательского ядерного реактора (ИРТ-Т). Экспериментально исследованы основные спектрометрические характеристики источника и параметры формы спектров

ДУАЛ (S- и W-параметры), являющиеся маркерами состояния дефектной структуры. Апробация методики осуществлялась на бездефектных образцах, образцах с контролируемой дефектностью, а также в экспериментах по нагреву и водородному насыщению. Результаты данных экспериментов представлены на рис. 1.

Видно, что, нагрев приводит к увеличению S- параметра быстрее, чем его изменение без нагрева, этот эффект связан с увеличением концентрации равновесных вакансий. Также, видно, что наибольшие изменения дефектной структуры титана при высокотемпературном насыщении водородом происходят на стадии охлаждения, когда начинается образование гидридов, сопровождающееся увеличением плотности дислокаций [1].

Результатом данной работы стал первый опыт внедрения изотопа ⁶⁴Cu для метода ДУАЛ с целью организации in-situ измерений с учетом всех особенностей получения и эксплуатации этого источника.

Финансирование: Исследование финансировалось Государственной программой «Наука», исследовательский проект № FSWW - 2020-0017.

1. Laptev, R.S.; Bordulev, Y.S.; Kudiiarov, V.N.; Lider, A.M.; Garanin, G.V. Positron Annihilation Spectroscopy of Defects in Commercially Pure Titanium Saturated with Hydrogen. Adv. Mater. Res. 2014, 880, 134–140, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.880.134.

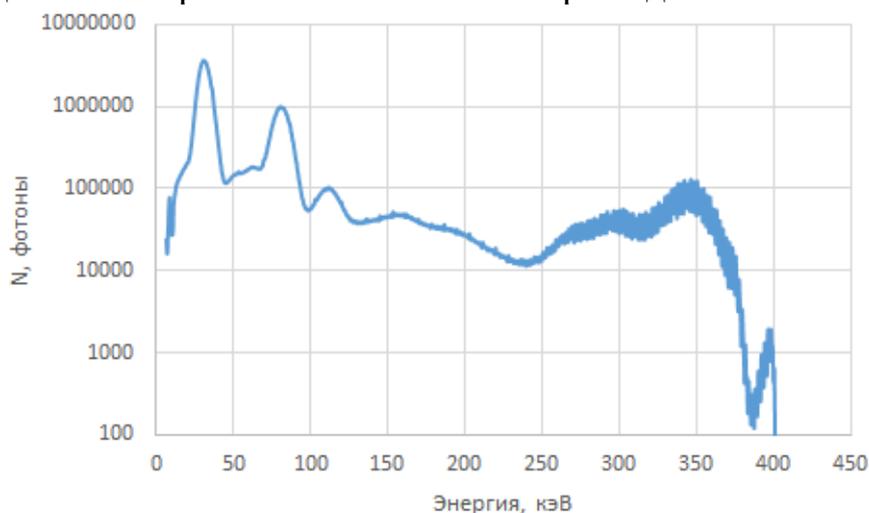
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ГАММА-ФРАКЦИОМЕРА

Чистяков С.Г., Филатов Н.А., Алексеев Н.В.

Научный руководитель: Гоголев А.С., к.ф.-м.н, зав. лаб. МНОЛ РО
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: csg@tpu.ru

Целью научно-исследовательских работ была разработка и изготовление опытного образца цифрового спектрометра для гамма-фракциомера – мобильного радиоизотопного прибора (РИП), в составе которого используется радиационный источник в виде ЗРИ ХВа3.06 на основе радионуклида Барий-133 (^{133}Ba) активностью не более 10 мКи.

В основе гамма-фракциомера используется принцип ослабления потока гамма-излучения и зависимости массового коэффициента ослабления от химического состава компонентов потока. Сколламированный поток гамма-излучения от источника Барий-133 проходит через газо-водо-нефтяную смесь и регистрируется цифровым энергодисперсионным гамма-спектрометром. С учетом зависимости коэффициента ослабления гамма-излучения от компонентного состава потока и энергии гамма-квантов из зарегистрированных линий спектра 31 и 81 кэВ определяются доли газа, воды и нефти, а по линии 356 кэВ измеряется средняя плотность флюида. Ниже на рисунке приведен спектр, измеренный разработанным сцинтилляционным спектрометром на основе пикового детектора и сборки кремниевого ФЭУ с сцинтиллятором нового поколения бромидом лантана LaBr_3 .



Испытания нового сцинтилляционного кристалла LaBr_3 показали хорошие результаты. Энергетическое разрешение 23% для 31 кэВ, 7.5% для 81 кэВ и 20% для 356 кэВ.

Кристалл рекомендован к использованию в серийных спектрометрах, из-за лучшего разрешения и более широкого рабочего температурного диапазона, чем кристаллы CsI и LYSO .

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕНОСА ЧАСТИЦ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА МХОВ-БИОМОНТОРОВ

Покровская Е.А., Рогова Н.С.

Научный руководитель: Рызжак Н.К., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pokrelena@tpu.ru

Проблема моделирования вертикальных движений мелкодисперсных частиц выбросов промышленных предприятий является одной из важнейших. В современных моделях вертикальное перемещение частиц в приземном слое атмосферы описывается обычно турбулентной диффузией в поле сил гравитации. Однако, в условиях атмосферной неустойчивости перемещение частиц в вертикальном направлении возможно также в восходящих или нисходящих конвективных потоках. Для изучения механизмов переноса частиц в вертикальном направлении в работе проведены оценки средних значений вертикальной компоненты скорости мелкодисперсных частиц выбросов промышленных предприятий в приземном слое атмосферы.

Результаты получены для высотного источника загрязнения (угольная ТЭЦ) с помощью предложенного в работе [1] полуэмпирического метода – измеренный с помощью нейтронно-активационного анализа мхов-биомониторов [2] горизонтальный профиль уровня загрязнения описали нелинейной параметрической регрессией, аналитический вид которой определяется решением диффузионно-конвективного уравнения переноса выбросов предприятий [3]. Для исследования в зоне действия источника выбросов в летом 2008 года на высотах 0,5...1,5 м отобраны образцы мха *Pylaisia polyantha* (Hedw.), длина прироста которого соответствовала трехлетнему периоду экспозиции. Оценки показывают, что: 1) скорости переноса частиц в вертикальном направлении составляют от нескольких см/с до нескольких десятков см/с, то есть соответствуют скорости мезомасштабных вертикальных движений в зонах действия предприятий (до нескольких десятков км); 2) усредненная по большой территории и за длительные промежутки времени скорость перемещения частиц в направлении к земной поверхности в среднем более чем на порядок выше скоростей Стокса; 3) в зонах влияния крупных предприятий одним из основных механизмов переноса частиц в направлении к земной поверхности является движение в нисходящих потоках воздуха.

1. Ryzhakova N.K., Borisenko A.L., Babicheva V. O. Use of moss biomonitors for turbulent transport coefficient estimation for industrial emissions. Atmospheric Pollution Research, 2017, V. 8(5), p. 997-1004.
2. Borisenko A. L., Ryzhakova N. K., Rogova N. S. Mosses as indicators of urban environmental pollution: Examples of *pylaisia polyantha* (HEDW.) BSG from West Siberia //Mosses: Ecology, Life Cycle and Significance. – 2018. – С. 27-57.
3. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 272 с.

EVALUATION OF CALCULATION TOOLS USED FOR YTTRIUM-90 PRODUCTION PLANNING

Mashau M., Bedhesi L.

The South African Nuclear Energy Corporation (Necsa) SOC Ltd, Building P1900, P.O. Box 582, Pretoria, 0001 South Africa.

E-mail: maurice.mashau@necsa.co.za

Radioactive isotopes can be generated in research reactors by irradiating various materials and harvesting the desired isotopes after irradiation. Prior to irradiation, it is important to estimate the optimal irradiation times and position-dependent neutron fluxes in the reactor core, in order to optimize the yield of radioactive isotopes. This process is what we refer to as isotope production planning. This paper is focused on the production planning of the Y-90 isotope, which is produced via the radiative neutron capture (n,γ) of Y-89 in a reactor core. To estimate the irradiation time for Y-90, the equation given below is used:

$$A^{90}(t) = N^{89} \sigma_{cap}^{89} (1 - e^{-\lambda^{90} t_{Irrad}}) e^{-\lambda^{90} t_{Decay}}$$

The following parameters need to be known: the targeted activity of Y-90 after decay, Y-89 microscopic capture cross sections, number density of Y-89, decay constant of Y-90 and the total neutron flux in the sample. The Monte Carlo code MCNP, version 5.1.51 [1] is used to calculate the total neutron flux in the sample and reaction rates which are then used to calculate the microscopic capture cross sections. OSCAR-4 [2] is used to calculate the number densities of the burnable isotopes needed in the MCNP code.

Irradiation planning was performed with the procedure described here. The client proceeded to irradiate the Y-89 material according to the irradiation times and reactor positions as calculated. After irradiation, the activities of the produced Y-90 samples were measured. The sample activities are required to be within a targeted activity range. This was achieved in 77 % of the 159 cases predicted. The measured activities of Y-90 for the operational cycles considered were within ± 10 % of the target activities. It is concluded that the production planning methodology here is an effective approach for the prediction of the irradiation time for isotope production planning.

1. Los Alamos Scientific Laboratory, MCNP: a General Monte Carlo Code for neutron and photon transport, Version 5.1.51, Los Alamos, USA, April 2003.
2. R.H. Prinsloo, et.al., "Recent developments of the OSCAR calculational system, as applied to selected examples from IAEA research reactor benchmarks", Proc. IGORR 20017, Sydney, Australia, 3 – 7 December, 2017.

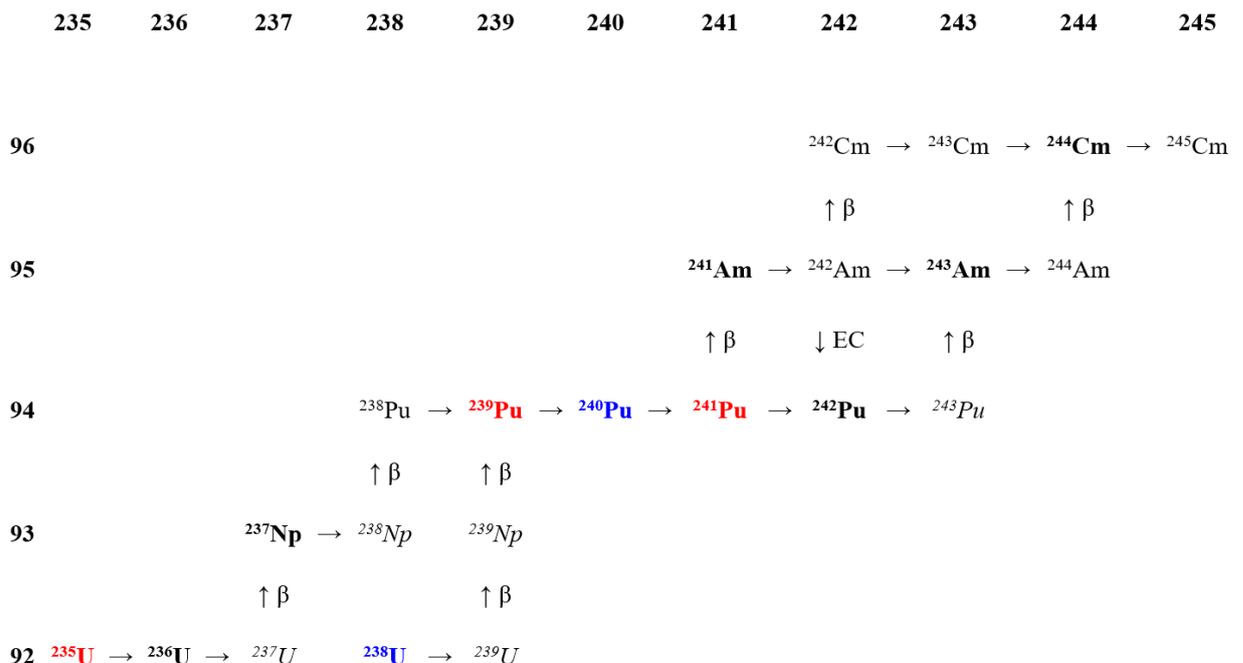
CHANGE OF ISOTOPE COMPOSITION OF NUCLEAR FUEL

Ketter E.K.

Nairobi, Kenya

E-mail: elvisketter09@gmail.com

During the operation of a nuclear reactor a number of changes occur in the composition of the fuel. The various fuel nuclei are transmuted by neutron capture and subsequent decay. For this research we are going to consider reactors operating on the uranium cycle. It uses fuel developed directly from natural uranium which contains a mixture of ^{234}U , ^{235}U , and ^{238}U [1]. The main goal of the task will be to determine the accumulation of various isotopes during the burnup of uranium fuel in 1000days. The concentrations of various isotopes produced in the transmutation–decay process of uranium will be determined in two ways. First with varying flux and the second with constant flux and then compared. Concentrations of the various fuel isotopes in a reactor are described by a coupled set of production–destruction equations. During the analysis we will take the initial concentrations of ^{235}U as $0,001 \frac{\text{nucl}}{\text{cm b}}$ and ^{238}U as $0,021 \frac{\text{nucl}}{\text{cm b}}$. The flux will be taken as $7 \times 10^{13} \frac{1}{\text{cm}^2\text{s}}$. The change of isotope concentration can be calculated using equation of isotope kinetics. The reaction rate can be determined by $R = \sigma \times \rho \times \phi$. The cross-sections needed will be taken from JANIS (E=0,025 eV). The analysis will be done using python software and concentrations of different isotopes determined. The graphs of the results will be plotted according to the obtained values and conclusions will be drawn. The uranium-plutonium fuel cycle can be shown below.



1. Nuclear Reactor Physics, Weston M. Stacey, Second Edition, Completely Revised and Enlarged, 2007.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ БЕЗАМАЛЬГАМНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ЛИТИЯ

Хорохорин В.С., Шамин В.И., Макасеев А.Ю., Зозуля М.В.

Научный руководитель: Шамин В.И., д.т.н.

АО «СХК», 634050, Россия, г. Северск, ул. Курчатова, 1

E-mail: VSKhorokhorin@rosatom.ru

Актуальность разработки и создания технологии безамальгамного обогащения лития-7 из природной смеси изотопов лития состоит в необходимости исключения из технологических процессов ртути (1-й класс опасности по ГОСТ 12.1.005-88), - это обстоятельство инициировало мировую тенденцию снижения потребления ртути.

Из существующих подходов к решению этой проблемы особый интерес представляют методы химического изотопного обмена (экстракция). В настоящее время признано, что наиболее перспективными экстрагентами являются макроциклические полиэферы (краун-эферы) экстракция на которых основана на их способности к образованию комплексов, содержащих катионы определённых изотопов [2,3].

Опубликованные результаты исследований основаны на экстракции на единичном элементе разделения с применением хлороформа и хлорида лития [2,3] с получением коэффициентов разделения (K_p) 1,025-1,032. Однако, нет данных по получению умножающихся K_p изотопов лития на каскадах.

При работе каскада из центробежных экстракторов дизайна АО «СХК» [4], подтверждены опубликованные коэффициенты разделения, а также выявлено повышенное испарение хлороформа, образование твёрдых гидратов хлороформа, коррозии оборудования, что вело к сбоям в гидродинамике фаз.

Применение хлороформа подходит для исследований лабораторного масштаба, для промышленного получения изотопа Li-7 нужны альтернативные разбавители краун-эфиров. Показано, что наиболее подходящими физико-химическими свойствами обладают фторорганические жидкости, имеющие высокие температуры кипения и не растворяющиеся в растворах солей лития. [5].

1. А.В. Габриелян и др. Обогащение лития по изотопу ^7Li электромембранным методом // Альтернативная энергетика и экология № 22-24 (270-272) 2018 С. 107 – 118.
2. Исупов В. П., Митрофанова Р. П., Чупахина Л. Э. и др. Коэффициенты разделения изотопов лития при химическом изотопном обмене // Химия в интересах устойчивого развития 9 (2001), С. 183 – 198.
3. Nishizawa K., Ishino S., Watanabe H., Shinagawa M. Lithium Isotope Separation by Liquid-Liquid Extraction Using Benzo-15-Crown-5. Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, 21[9], pp. 694~701 (September 1984).
4. Центробежный экстрактор с устройством для деэмульгирования. Патент на изобретение RU 2670234 С2. Шамин В.И., Тинин В.В., Соколов Р.В., Зюзин А.В., Козырев А.С.– опубл. 19.10.2018.
- 5 Белова Е.В., Герман К.Э., Ярыкин Д.И. и др. Современные образовательные технологии в физической химии. Монография. М.: «ИД «Граница». 2019. С. 85.

Секция 5

**ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВ-
НЫМИ ОТХОДАМИ**

Председатель: к.т.н. Беспала Е.В.

О ВОЗМОЖНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ ГАЗОДИФФУЗИОННЫХ МАШИН ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ

Волгин А.В., Беспала Е.В.

АО «ТВЭЛ», 115409, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, д. 49

E-mail: AleVlaVolgin@tvel.ru

На сегодняшний день одним из важнейших рынков ВЭ является рынок, связанный с ВЭ разделительного производства, ранее используемого для обогащения урана и получения стабильных изотопов. Так 05.02.2021 французская компания «Orano» получила разрешение на начало демонтажа установки по газодиффузионному обогащению урана Жорж-Бесс (Georges Besse) на комплексе Трикастин на юго-востоке Франции. Работы по ВЭ завода должны завершиться не позднее 31 декабря 2051 года. Таким образом, работа по демонтажу газодиффузионных машин продлится следующие три десятилетия. Эти операции будут включать демонтаж всего промышленного оборудования. Проект включает демонтаж 1400 ступеней диффузионного каскада, который включает 160 тыс. тонн стали, 30 тыс. тонн металлического оборудования и более 1300 км трубопроводов. Перед началом работ по демонтажу в старых производственных цехах будут установлены установки для резки и уплотнения промышленного оборудования. При этом стоимость работ оценивается в несколько миллиардов долларов.

В РФ имеется опыт ВЭ из эксплуатации объектов разделительного производства, в частности демонтажа газодиффузионных машин. С одной стороны, все предприятия разделительно-сублиматного комплекса в разное время прошли модернизацию, связанную с заменой газодиффузионного оборудования на центрифужное. В рамках модернизации проводилась очистка оборудования, демонтаж газодиффузионных машин и обеспечивающих коммуникаций, фрагментация оборудования и дезактивация образующихся фрагментов, подготовка площадки к размещению газовых центрифуг. С другой стороны, помимо модернизации оборудования в АО «СХК» и АО «АЭХК» впервые проводили комплекс мероприятий по ВЭ разделительного производства.

Исходя из вышеуказанного, целесообразно разработать принципиально новые подходы, технические решения и технологии для получения референтных продуктов по ВЭ разделительных производств и, в частности, демонтажа и фрагментации газодиффузионных машин.

В связи с этим, наиболее подходящим техническим решением представляется технология дистанционной лазерной резки, позволяющая фрагментировать и демонтировать газодиффузионные машины на значительном расстоянии, в стесненных условиях и без извлечения конструктивных и фильтрующих элементов (например, фильтров). Кроме того, создание такой системы дистанционной лазерной резки позволит расширить арсенал технических решений и технологий для фрагментации радиационно загрязненного крупногабаритного оборудования ОИАЭ.

ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДЕЗАКТИВАЦИИ ОБЛУЧЕННОГО РЕАКТОРНОГО ГРАФИТА

Беспала Е.В., Лаврентьев К.А., Беспала Ю.Р.

АО «ТВЭЛ», 115409, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, д. 49

E-mail: evlbespala@tvel.ru

Общеизвестно, что в уран-графитовых реакторах (УГР) в качестве замедлителя нейтронов используется особо чистый графит. Несмотря на то, что при производстве такого графита проводится несколько этапов очистки (термическое прокаливание нефтяного кокса, высокотемпературный обжиг заготовок, химическая обработка, графитация), в нём остаются различные примеси, например, O_2 , N_2 , Fe, V, Ti, Al, Mn, Ni, Co, Ca, Mg, B, Cl, S. В соответствии с Постановлением Правительства РФ 19 октября 2012 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам...» около 81-88 % реакторного графита относится ко 2 классу (1-2 % – к 1 классу, 11-17 % – к 3 классу, менее 1 % – к 4 классу). Таким образом, 82-90 % графитовых радиоактивных отходов (РАО) российских УГР должно быть захоронено в пункте глубинного захоронения.

Верхнеуровневые оценки показывают, что стоимость захоронения одного контейнера НЗК-150-1,5П, содержащего облученный реакторный графит без просыпей ОЯТ, в ценах 2021 года составляет 2 845 903,29 руб. [1]. Следовательно, для захоронения всех графитовых РАО (26 000 тонн), образующихся при выводе из эксплуатации канальных УГР, потребуется ≈ 13 500 контейнеров типа НЗК-150-1,5П, а затраты на реализацию данного варианта составят 38,2 млрд. руб. Очевидно, что выбор такой концепции обращения с облученным графитом АЭС приведет к неоправданным экономическим последствиям, связанным с необоснованными затратами на ее реализацию. С другой стороны, на конец 2021 в РФ не существует ни одного пункта захоронения РАО 2 класса, а строительство пункта глубинного захоронения в Нижнеканском массиве начнется не ранее 2030 г.

В качестве решения данной проблемы предлагаются различные методы дезактивации облученного графита с целью перевода его из 2 класса в 3 или 4 класс: термические, высокотемпературные (плазменные), химические, электрохимические, жидкостные и т.д. Однако большая часть указанных методов не позволяет полноценно снизить класс и приводит к образованию еще большего количества вторичных РАО. Кроме того, сам графит является лучшей матрицей для фиксации находящихся в нем радионуклидов и любые операции, связанные с ее разрушением, приводят к возникновению затрат на обеспечение радиационной, а иногда и ядерной безопасности. В связи с этим необходим крайне взвешенный экономический подход к выбору тех или иных методов дезактивации облученного реакторного графита.

1. Волков В.Г., Сафронова Н.Н., Морозов Ф.Т., Комаров Е.А., Зимин В.К., Былкин Б.К., Зверков Ю.А., Павлюк А.О., Котляревский С.Г., Кан Р.И. О проблеме заключительного этапа обращения с облученным графитом блоков АЭС с водографитовыми реактора // Радиоактивные отходы. – 2021. – 2(15). – С. 10–20.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОЙНОГО ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ ВОКРУГ МИНЕРАЛА ГЛИНЫ

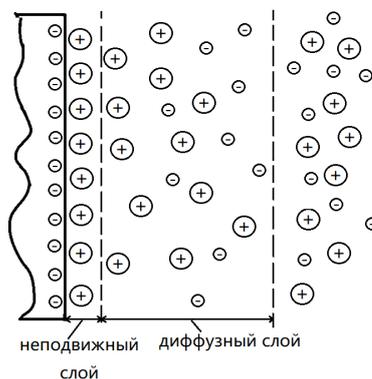
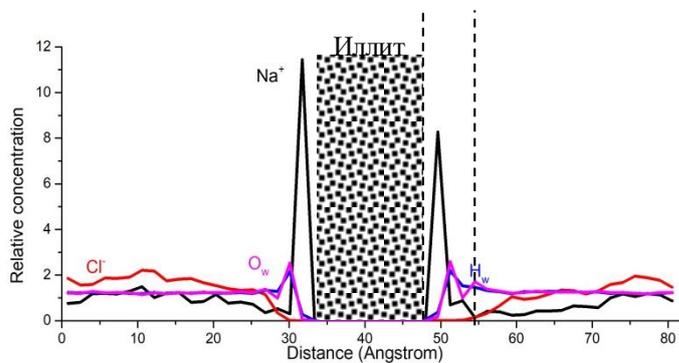
Ван Цайлунь, Шукшина Д.Д.

Научный руководитель: Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2
E-mail: caylun1224@gmail.com

Благодаря высокой адсорбционной способности и низкой гидравлической проводимости глина играет жизненно важную роль в почвоведении, науке об окружающей среде и захоронении радиоактивных отходов. Ионно-водно-минеральное взаимодействие определяет состав и потоки флюидов, миграцию элементов, минеральные изменения, выветривание и силу набухания пород в зоне их обнажения. Набухаемость глинистых минералов изменяется при обмене катионами между слоями, что связано с состоянием гидратации катионов, находящихся у поверхности минерала [1]. Состояние гидратации ионов в растворе сильно различается для разных типов ионов, в том числе для ионов одинаковой валентности.

Чтобы понять процесс набухания глины, поверхность которых заряжена отрицательно, для водных систем необходимо изучать структуру границы раздела раствора с двойным диффузионным слоем (ДДС) и динамику катионов и молекул воды, адсорбированных на поверхности минерала.

На рисунке показаны структура и распределение ионов и воды на поверхности частицы глины. Левое изображение показывает профили концентраций ионов и воды на поверхности глины. На правом изображении приведена схема ДДС. Видно, что на расстоянии 3 \AA от поверхности глины наблюдается пик концентрации Na^+ , а Cl^- в этой области почти отсутствует. В периферийной области ДДС в воде имеется больше ионов Cl^- . При дальнейшем удалении от края частицы глины концентрации Cl^- и Na^+ выравниваются. Область ДДС распространяется до 100 \AA [2]. В докладе анализируется влияние различных факторов на толщину ДДС.



1. Morodome S., Kawamura K. Swelling behavior of Na- and Ca-montmorillonite up to 150°C by in situ X-ray diffraction experiments // *Clays and Clay Minerals*. – 2009. – V. 57. – №. 2. – P. 150-160.
2. Pamukcu S. Electro-chemical technologies for in-situ restoration of contaminated subsurface soils // *Electronic journal of geotechnical engineering*. – 1997. – V. 2.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ O^- И H^+ В ГИДРАТНОЙ ОБОЛОЧКЕ ИОНОВ ПРИ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С МИНЕРАЛОМ ГЛИНЫ

Ван Цайлунь, Шукшина Д. Д.

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

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

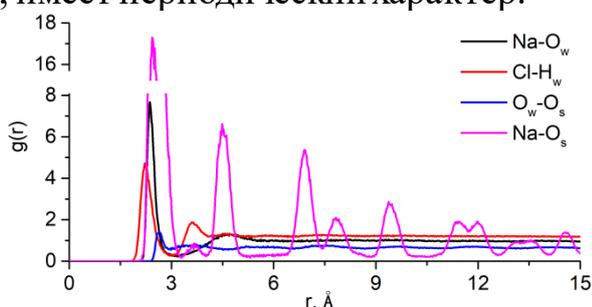
E-mail: caylun1224@gmail.com

Глинистые минералы широко распространены в окружающей среде. Благодаря своим физико-химическим свойствам и возможности к набуханию при контакте с водой, они стали предметом исследований во многих областях.

Гидратированные ионы в процессе диффузии взаимодействуют с поверхностью глины с образованием комплексов внутренней и внешней сфер. Поэтому гидратация влияет на коэффициент диффузии ионов. Для анализа

параметров гидратной оболочки межслоевых катионов может быть использована функция радиального распределения (RDF).

На рисунке представлены RDF-кривые при взаимодействии ионов Na^+ с атомами молекул воды, имеющими частичный заряд, и поверхностью глины. Используются следующие обозначения: O_w – кислород воды, H_w – водород воды, O_s – кислород на поверхность глины. Можно видеть, что кривые распределения Na-O_w и Cl-H_w имеют два пика, которые представляют первый и второй слои гидратной оболочки вокруг иона Na^+ . При этом расстояние между Cl и водородом молекулы воды меньше, чем расстояние между Na^+ и кислородом воды. Распределение ионов Na^+ , относительно базальной поверхности минерала глины, имеет периодический характер.



Ионы Na^+ также взаимодействуют с кислородом на поверхности глины O_s , сила взаимодействия которых уменьшается с каждым слоем гидратной оболочки. Отрицательный заряд на базальной поверхности слоя глины притягивает атомы водорода, входящие в молекулу воды и в то же время отталкивает атомы кислорода молекулы воды.

По мере увеличения гидратной оболочки расстояние между молекулами воды и катионами увеличивается, а сила притяжения уменьшается. Поэтому наличие гидратной оболочки катионов уменьшает коэффициент диффузии из-за увеличения их эффективной массы и увеличивает его из-за отдаления от фиксированных на базальных поверхностях зарядов.

1. Rinnert E. et al. Hydration of a synthetic clay with tetrahedral charges: a multidisciplinary experimental and numerical study // The Journal of Physical Chemistry B. – 2005. – V. 109. – №. 49. – P. 23745-23759.

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ДЛЯ БОЛЕЕ ШИРОКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СУЯЗ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Хужажинова К. А.

Научный руководитель: Верхотурова В. В., к. и. н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kamilakhuzhazhinova@gmail.com

Несмотря на то, что Республика Казахстан является лидером по добыче урановой руды в мире, обладает технологиями изготовления топлива для реакторов, данная страна только встает на путь использования атомной энергетики. Построение АЭС влечет за собой ряд задач, таких как управление

ядерными знаниями (УЯЗ). Не имея системы УЯЗ страна рискует не собрать квалифицированные кадры для проектов, а также потерять накопленные знания в ядерной отрасли.

Изучение действующего состояния PR-концепции Казахстана за последние 3 года показало, что большая часть мероприятий, проводимых ядерным обществом, направлены на работу с действующими сотрудниками отрасли 84%, а с молодым поколением лишь 17%, в то время как зарубежные страны уделяют должное внимание работе с молодежью, начиная с детских садов [1].

Анализ существующих СУЯЗ позволил выявить лучший опыт в УЯЗ в рамках компании Российской Федерации «Росатом». Так, созданная информационная платформа охватывает все стадии жизненного цикла знаний от формирования до коммерциализации. Данные могут загружаться, храниться и передаваться во внешние базы данных мировых сообществ ядерной индустрии.

В разработанных рекомендациях для РК подход в PR-концепции разделен согласно возрастным группам. Представлен ряд мер по созданию позитивного мышлеобраза на этапе детского сада и начальной школы. В возрасте средней и старшей школы индустрии важно пробудить интерес к инженерным наукам, отобрать способный человеческий ресурс и направить в ядерные университеты. Приведены предложения по развитию науки через совместные программы с предприятиями и учебными заведениями. Для молодых сотрудников представлена программа наставничества для легкого процесса адаптации во время работы.

Перенимание опыта зарубежных коллег и следование разработанным рекомендациям, позволит Казахстану создать уникальную СУЯЗ в мире и расширить использование ядерной энергии в рамках страны.

1. Архив новостей // Ядерное общество Казахстана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nuclear.kz/news/?lang=ru> – 07.05.2021 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИВНЕЙ ПО ГАММА-ФОНУ

Яковлев Г.А.¹

Научный руководитель: Яковлева В.С.², д.т.н., профессор

¹Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

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

E-mail: yakovlev-grisha@mail.ru

Оценка интенсивности и других характеристик осадков по динамике мощности дозы гамма-излучения является достаточно непростой задачей. Многочисленные исследования показали, что знание только одной мощности дозы гамма-излучения не достаточно [1].

В данной работе проводили разработку метода оценки средних за одно событие значений интенсивности по динамике измеренной мощности дозы

гамма-излучения. Анализ экспериментальных данных позволил выявить, что величина всплеска в гамма-фоне не коррелирует с интенсивностью осадков, что хорошо согласуется с экспериментальными данными по гамма-фону [1-3]. Реакция мощности дозы гамма-излучения на осадки, проявляющаяся в виде аномальных всплесков в гамма-фоне, была детально изучена и в работе приведена их классификация. Подход к разработке метода был выбран исходя из набора величин, которые можно реально измерить, либо оценить исходя из известных геофизических данных и ядерных констант. В частности предполагается знание плотности потока радона q_{Rn} с поверхности почвы, либо ей оценка на основе содержания ^{226}Ra в почве по известным моделям [4, 5]. Анализ реакции гамма-фона на ливни различной интенсивности и длительности позволил четко определять факт прохождения дождя. В работе сформулированы отличительные признаки, по которым возможно определение времени начала и окончания выпадения осадков, изменения интенсивности осадков для одиночных событий (формирующих один всплеск в гамма-фоне).

Разработан метод для оценки средних за одно событие значений интенсивности и количества осадков по экспериментальным данным о динамике мощности дозы γ -излучения учитывает радиоактивный распад продуктов распада радона в атмосфере и на земной поверхности в период осадков, а также очищение атмосферы от радионуклидов.

1. Bottardi C. et al. Rain rate and radon daughters' activity // Atmospheric Environment. 2020. Т. 238. С. 117728.
2. Яковлева В.С. Моделирование влияния состояния атмосферы и литосферы на динамику плотности потока радона и торона // Известия ТПУ. 2010. Т. 317. № 2. С. 162–166.
3. Gusev, A. A., Martin, I. M., Alves, M. A., & de Abreu, A. J. (2015). Simulation of the radiation fallout from gamma-ray measurements. Modeling Earth Systems and Environment, 1(3), 18.
4. Яковлева В.С. Полевой метод измерения коэффициента диффузии радона и торона в грунте / Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2014. № 1 (8). С. 81-85.
5. Яковлева В.С., Паровик Р.И. численное решение уравнения диффузии – адвекции радона в многослойных геологических средах // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2011. № 1(2). С. 44-54.

ЭФФЕКТИВНАЯ УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В НЕФТЕШЛАМАХ, С НЕУСТАНОВЛЕННЫМ НАРУШЕННЫМ РАДИОАКТИВНЫМ РАВНОВЕСИЕМ В РЯДАХ УРАНА И ТОРИЯ

Шумило А.В., Есильканов Г.М.

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

30

E-mail: artem7@tpu.ru

Образование жидких и твердых отходов с повышенным содержанием ЕРН является характерной особенностью ряда комплекса работ нефтегазовой отрасли. В результате такой деятельности происходит практически некон-

тролируемое перераспределение ЕРН в окружающей среде с концентрацией их в верхних слоях земной коры. Но в большей степени велика вероятность так называемого техногенного нарушениям в радиоактивных рядах урана и тория, в следствии выноса выбуренной породы на дневную поверхность при химической и механической обработке в ходе проведения буровых работ.

Образцы буровых отходов перед экспериментом проходили стадии: гомогенизации и сушки. Навески пробы подвергались кислотной обработке следующими концентрированными кислотами: HNO_3 , H_2SO_4 , HCl . В последующем пробы промывались дистиллированной водой до рН 7, после высушивались при температуре 150 – 200°C в сушильном шкафу для последующих измерений на гамма-спектрометре. Измерения удельной активности гамма излучаемых радионуклидов проводился с помощью спектрометрического комплекса ПРОГРЕСС Ар-Б-Г (НПП «Доза»), согласно методике ГОСТ 30108-94.

Получено, даже при самой агрессивной обработке таких сред как серная кислота, активность изотопа ^{226}Ra в целом будет оставаться практически неизменной. Выпад изотопов ^{232}Th и ^{40}K обусловлен их непосредственной связью с кварцевой основой в образцах, которая под воздействием кислот формирует соединения с песком и породой, и выпадает в осадок в виде силикатов. Данные результаты прямо указывают на тот факт, что применение химически агрессивных сред в качестве обезвреживания отходов по большей части работают.

Проведение исследований по накопившимся нерастворимым остаткам были бы существенно полезны в рассмотрении вопроса об утилизации такого рода отходов уже обезвреженных шламов, определения их физико-химических свойств, активности и дальнейшей классификации, и утилизации как РАО.

1. Радиационная гигиена. Эффективная удельная активность природных радионуклидов в средах с нарушенным радиоактивным равновесием в рядах урана и тория. И.П. Стамат, Э.П. Лисаченко. Том 1 № 1 2008.
2. Федеральный классификационный каталог отходов. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 №242 (с изменениями от 2 ноября 2018 года № 451).

ФЛОТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ИЛЬМЕНИТОВЫХ РУД ИЗ ВЬЕТНАМА

Ле Ш.Х.¹, Карелина Н.В.², Киеу Т.Б.¹, Карелин В.А.²

Научный руководитель: Карелин В.А., д.т.н., профессор

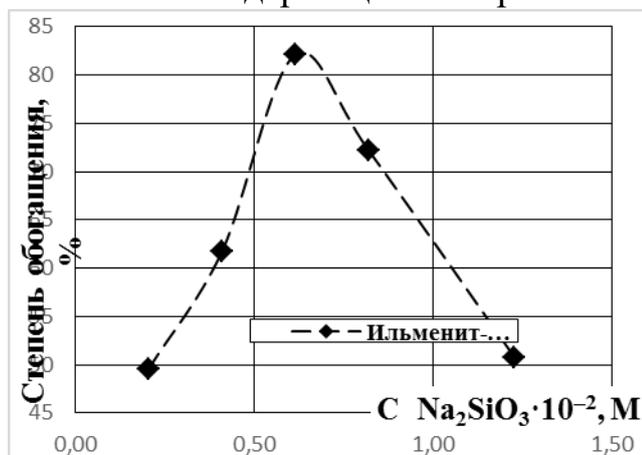
¹Вьетнамский институт по атомной энергии (Винатом) Ханой, Вьетнам

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

E-mail: vakarelin@tpu.ru

Выполнены исследования влияния вспомогательных веществ (добавок) на особенности флотационного обогащения руды месторождения Ха Тинь (Вьетнам) после ее обогащения методом магнитной сепарации. Состав основных компонентов исходной руды %: Ti – 27,66; Fe – 14,62; Zr – 9,23; Si – 4,52; Ce – 0,18; Hf – 0,17; Nb – 0,11; V – 0,044.

В процессе флотации добавки способствуют эффективному отделению тяжелых минералов от песков, одновременно увеличивая степень обогащения тяжелых минералов. Например, таким способом отделяют тяжелые минералы (рутил, ильменит и циркон) от пустой породы (кварцевых песков) и отделить ильменит от рутила и циркона. На рис. показано влияние ингибитора кварцевых песков – силиката натрия Na_2SiO_3 , способствующего отделению кварца и циркона от титансодержащих минералов.



Влияние силиката натрия на эффективность обогащения ильменита

Показано, что с увеличением концентрации Na_2SiO_3 от 0,083 до 0,25 г/л эффективность флотации возрастает, концентрация T_i и степень обогащения постепенно увеличиваются. Однако при дальнейшем увеличении концентрации Na_2SiO_3 до 0,5 г/л эффективность процесса постепенно падает. Следовательно, оптимальная концентрация Na_2SiO_3 при флотации ильменитовой руды не превышает 0,25 г/л.

1. Ле Ш.Х., Киеу Б.Т., Карелин В.А. Флотационное обогащение ильменитовых руд из Вьетнама // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXII Межд. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых им. Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посв. 125-летию со дня основания ТПУ (г. Томск, 17-20 мая 2021 г.). В 2 т. Т. 2 / ТПУ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – С. 118-119.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСТРАКЦИИ HNO_3 СОЛЬВАТАМИ $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ И HNO_3 С ТБФ И СОВМЕСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ УРАНИЛНИТРАТА И РЯДА КИСЛОТ ТРИБУТИЛФОСФАТОМ

Никитин И.В., Миклашевич Д. М., Лобков Д.С., Карелин В.А.

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

Азотная кислота играет важную роль при экстракционном извлечении $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ трибутилфосфатом (ТБФ). В табл. представлены данные по соэкстракции воды в органическую фазу (ОФ) при экстракции HNO_3 .

Содержание воды и HNO_3 в дисольвате $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ с ТБФ (без разбавителя)

y_U	y	$A_{\text{орг}}$	ρ	$S_{\text{равн}}$	S/y_U
-------	-----	------------------	--------	-------------------	---------

1.60	0	0.16	1475	3.16	1.98
1.58	0.335	0.24	1475	3.11	1.97
1.60	0.73	0.55	1480	3.00	1.88
1.48	1.50	0.65	1475	2.94	1.99
1.46	2.3	1.04	1485	2.81	1.92
1.31	3.8	1.65	1475	2.59	1.98

Видно, что при увеличении концентрации HNO_3 (C_{HNO_3}) и H_2O в ОФ отношение $D_{\text{ТБФ}}$ к $C_{\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2}$ постоянно и близка к 2. Таким образом HNO_3 распределяется в ОФ без вытеснения урана, т.е. HNO_3 экстрагируется дисольватом $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{ТБФ}$, который в этих условиях устойчив.

На рис. сопоставлены экспериментальные и расчетные данные по совместной экстракции плавиковой и технециевой кислот с уранилнитратом.

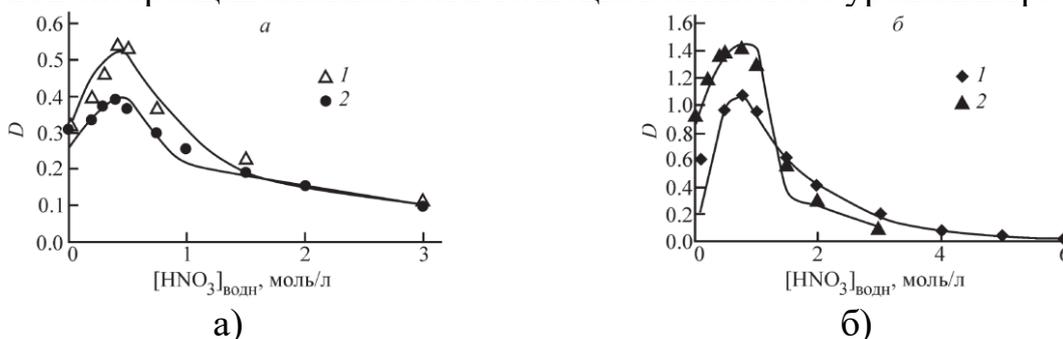


Рис. Экстракция плавиковой (а) и технециевой (б) кислот 30 %-ным ТБФ с додеканом. На а, $[\text{HF}]$, М: 1 – 0.1, 2 – 0.3. На б: 1 – Tc^{7+} , 2 – Mn^{7+}

Таким образом взаимодействие анионов кислот с ураном сводится к их соэкстракции по уравнению ионного обмена и их комплексообразованию с катионом уранила в ВФ с понижением его заряда.

1. Журавлев Н.А., Карелин В.А., Распутин И.В. Особенности применения нитрата алюминия при переработке ОЯТ / В сб.: Химия и химическая технология в XXI веке. Материалы XX Междунар. науч.-практ. конф. им. Проф. Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 429-430.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ В ПРОЦЕССАХ ОБОГАЩЕНИЯ ИЛЬМЕНИТОВЫХ РУД ИЗ ВЬЕТНАМА

Киеу Б.Т.¹, Ле Ш.Х.¹, Карелина Н.В.², Карелин В.А.²

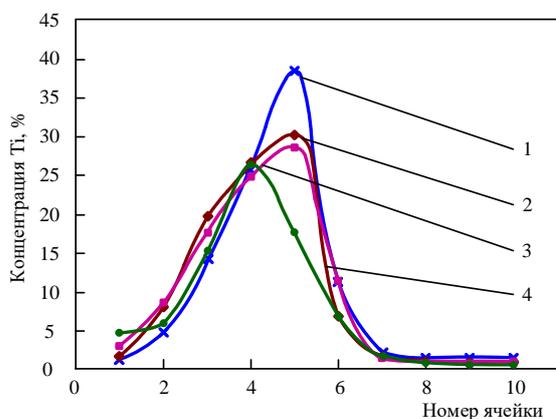
Научный руководитель: Карелин В.А., д.т.н., профессор

¹Вьетнамский институт по атомной энергии (Винатом) Ханой, Вьетнам

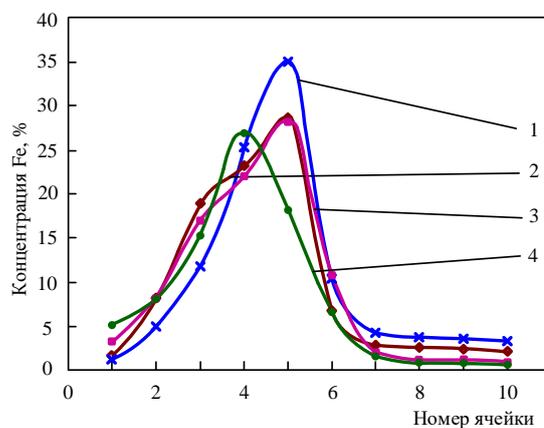
²Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: vakarelin@tpu.ru

Выполнены исследования по обогащению ильменитовых руды месторождения Ха Тинь (Вьетнам) методами электростатической сепарации (рис. 3). Состав исходной ильменитовой руды %: Ti – 27,66; Fe – 14,62; Zr – 9,23; Si – 4,52; Ce – 0,18; Hf – 0,17; Nb – 0,11; V – 0,044.



а)



б)

Зависимость изменения концентрации титана (а) и железа (б) в продукте в ячейках сепаратора от напряжения на электродах. Напряжение между электродами сепаратора: 1 – 25 кВ; 2 – 27,5 кВ; 3 – 30 кВ; 4 – 35 кВ

При проведении исследований установлено, что при увеличении напряжения между электродами сепаратора с 25 до 35 кВ изменяется распределение целевых компонентов (титановых минералов) в 10-ти ячейках сепаратора. Результаты показывают, что Ti и Fe в основном распределяются в ячейках с 1 по 5 в зависимости от напряжения между электродами сепаратора. Распределение компонентов не изменилось при достижении напряжения 30 кВ и более. Таким образом, чтобы процесс разделения происходил эффективно, напряжение, подаваемое на электростатический сепаратор, должно быть не менее 30 кВ.

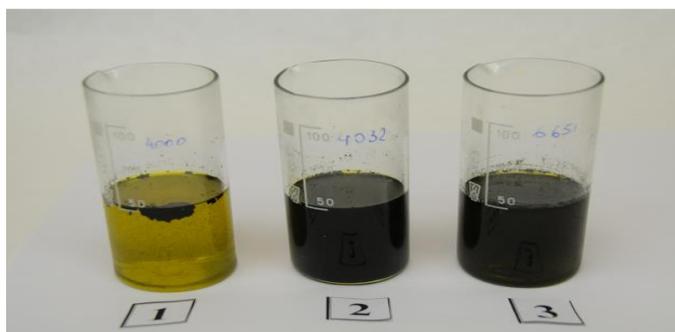
1. Киеу Б.Т., Ле Ш.Х., Карелин В.А. Применение процесса магнитной сепарации для обогащения вьетнамских ильменитовых руд // Химия и хим. техн. в XXI в.: материалы XXII Межд. науч.-практ. конф. студ. и мол. уч. им. Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посв. 125-летию со дня осн. ТПУ (г. Томск, 17-20 мая 2021 г.). В 2 т. Т. 2 / ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2021. – С. 117-118.
2. Ле Шон Хай, Карелина Н.В. Особенности обогащения ильменитовых концентратов из Вьетнама // Химия и хим. техн. в XXI в.: материалы XXI Межд. науч.-практ. конф. студ. и мол. уч. им. Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посв. 110-летию со дня рождения проф. А.Г. Стромберга, 21-24 сентября 2020 г., г. Томск / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 457-458.

ФЛОКУЛЯНТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ

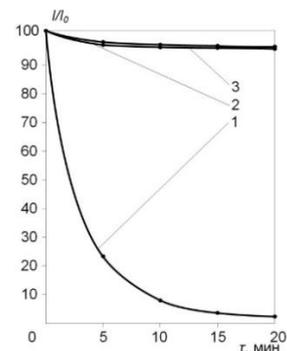
Распутин И.В., Журавлев Н.П., Карелин В.А.

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

Флокулянты типа BESFLOC обладают рядом свойств, которые позволяют применять их для удаления коллоидных примесей из суспензий, образующихся в процессе растворения керамического ОЯТ. На рис. 1а показан внешний вид растворов $UO_2(NO_3)_2$ с концентрацией U до 1000 г/л и мелкодисперсным порошком графита (имитатор) после взаимодействия с флокулянтами BESFLOC K4000, BESFLOC K4032 и BESFLOC K6651.



а)



б)

Рис. 1. Растворы $UO_2(NO_3)_2$ с U 1000 г/л и порошком графита, (а) и изменение I/I_0 от τ (б) после взаимодействия с BESFLOC: 1 – K4000; 2 – K4032; 3 – K6651

При использовании BESFLOC K4000 обеспечивается разделение коллоидного раствора, в результате которого коллоидные частицы собираются на поверхности раствора. Изменение оптической плотности (I/I_0) растворов от времени τ показано на рис. 1б. Исследования проведены при $90^\circ C$ и концентрации флокулянта, равной $\sim 0,07\%$ от массы твердого в суспензии.

Анионный BESFLOC K4032 и катионный BESFLOC K6651 незначительно увеличивают размеры коллоидных частиц только при контакте флокулянта с раствором более 1 часа. Образующиеся частицы имеют рыхлую структуру и при перемешивании разрушаются. При использовании BESFLOC K4000 в течение 10 мин значение I/I_0 не превышало 8 ед., а через 20 мин произошло практически полное осветление исходного раствора. Практически все коллоидные частицы находились в малом объеме на поверхности раствора за счет высокой плотности раствора. Таким образом, метод флокуляции обладает высокой эффективностью и может быть использован для удаления коллоидных частиц из растворов с концентрацией U до 1000 г/л.

1. Журавлев Н.А., Карелин В.А., Распутин И.В. Особенности применения нитрата алюминия при переработке ОЯТ / В сб.: Химия и химическая технология в XXI веке. Материалы XX Междунар. науч.-практ. конф. им. проф. Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 429-430.

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ И МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ В ОБРАЩЕНИИ С РАДИОАКТИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Новикова В.Д.¹

Научный руководитель: Волгин А.В.², АО "ТВЭЛ", руководитель группы

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

²АО «ТВЭЛ», 115409, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, д. 49

E-mail: novikova.veronika98@yandex.ru

Радиоактивные материалы, остающиеся на нефтяном оборудовании, вносят вклад в облучение не только персонала, но и населения. Поэтому,

необходимо правильное обращение с объектами нефтяной промышленности, включая очистку, конечную переработку нефтешлама и захоронение отходов.

В работе рассмотрены ключевые игроки в нефтяной отрасли: Россия, Мексика, ОАЭ, Нигерия, Бразилия, ЮАР, Алжир, Узбекистан, Китай и Норвегия. Поскольку трубы в нефтяной отрасли имеют ограниченный срок службы, то проблема вывода из эксплуатации оборудования и очистки трубопроводов от радиоактивных материалов природного происхождения (далее – «РМПП») приобретет широкое распространение во всех рассмотренных странах [1].

Законодательная база в отношении обращения с РМПП не развита или только начинает развиваться в этих странах. Нефтяные отходы регламентируются в соответствии с законами об охране окружающей среды, также даны общие рекомендации по выводу из эксплуатации нефтяного оборудования [2].

Рассмотрены девять методов очистки нефтяного оборудования от нефтешлама и солей. Наиболее оптимальными являются гидромеханический и электрогидроимпульсный, поскольку простоты в обслуживании, имеют малые габариты и относительно невысокая цена. Для удаления отложений солей эффективными методами выступают гидрокавитационный, гидродинамический, электрогидроимпульсный и химический.

При конечной переработке нефтешлама и отложений солей необходимо руководствоваться стоимостью и конечным состоянием отходов, что требует дополнительных исследований. Не удаляемые отходы могут быть захоронены в специальных контейнерах в соответствии с законодательными требованиями или снижен класс опасности до высвобождения из-под контроля. Наиболее простым выступает термический метод, требующим больших материальных затрат и дальнейшего захоронения отходов. Биологический метод один из наиболее перспективных из-за его экологичности, однако недостатком можно считать его стоимость.

1. Peter Evans, Gert Jonkers, Ernst-Michael Steffan. Guidelines for the Management of Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in the Oil and Gas Industry // Conference Paper – 2018. – P. 1-69.
2. Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry. Safety Reports Series No. 34 – 2003. – 130 p.

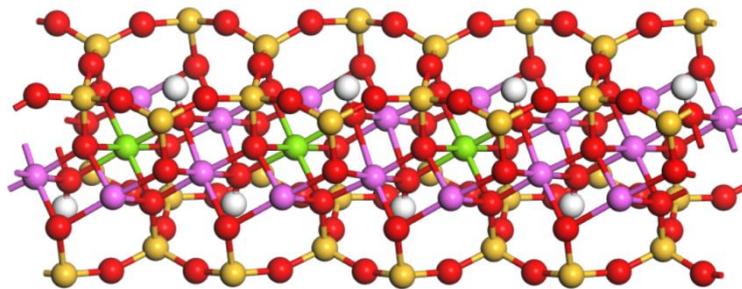
ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ ОТ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МОНТОРИЛЛОНИТА

Шукшина Д.Д., Ван Цайлунь

Научный руководитель: Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dds17@tpu.ru

В настоящее время для создания инженерных барьеров безопасности при захоронении радиоактивных отходов зачастую используют монтмориллонит. Монтмориллонит – глинистый минерал, характеризующийся трехэтажной решеткой: октаэдрический слой Al^{3+} расположен между двумя тет-

раздирческими слоями Si^{4+} . Между трехэтажными ячейками располагаются вода (так называемая, межслоевая) и катионы щелочных и щелочноземельных металлов. Замена в октаэдрических слоях алюминия на ионы Mg^{2+} , как показано на рисунке, приводит к появлению заряда в минеральной структуре.



Кристаллическая структура монтмориллонита: Al – сиреневый, Si – желтый, O – красный, Mg – зеленый.

Путем квантово-химического моделирования рассчитывали коэффициенты диффузии ионов K^+ в межслоевом пространстве монтмориллонита. Результаты расчетов для 5 из возможных вариантов замены алюминия на магний приведены в таблице.

$D_1, \text{м/с}^2$	$D_2, \text{м/с}^2$	$D_3, \text{м/с}^2$	$D_4, \text{м/с}^2$	$D_5, \text{м/с}^2$
$2,8134 \cdot 10^{-13}$	$2,1601 \cdot 10^{-13}$	$2,0014 \cdot 10^{-13}$	$2,9875 \cdot 10^{-13}$	$4,4214 \cdot 10^{-13}$

Из таблицы видно, что коэффициент диффузии ионов K^+ между слоями зависит от положения ионов Mg^{2+} в слоях. Наибольшим коэффициентом диффузии наблюдается при симметричном распределении заряда между слоями и наименьшем содержании магния в составе монтмориллонита. Чем больше коэффициент диффузии, тем больше проникающая способность радионуклидов. В связи с тем, что минеральный состав монтмориллонита является непостоянным, требуются дальнейшие исследования коэффициента диффузии. Это позволит увеличить срок эксплуатации пунктов захоронения радиоактивных отходов.

В докладе обсуждаются результаты моделирования изменения коэффициента диффузии катионов в межслоевом пространстве монтмориллонита.

ОПЫТ ФГУП «ГХК» В ФОРМИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУГР

Павленко А.П.

ФГУП «ГХК», 662972, Россия, г. Железногорск, ул. Ленина, д.53

E-mail: pavlenkoanastasia24@gmail.ru

Концепция вывода из эксплуатации промышленного уран-графитового реактора (ПУГР) по варианту «захоронения на месте» предусматривает надёжную изоляцию основных элементов конструкции ПУГР, не подлежащих демонтажу и удалению, непосредственно на площадке

размещения реактора. Формирование инженерных барьеров безопасности (ИББ) одна из важнейших задач для обеспечения надёжной консервации особых РАО на весь период их потенциальной опасности.

ИББ формируются в пустых пространствах под реактором и в помещениях, использовавшихся для его обслуживания. Для этого указанные помещения бетонируются или, в большинстве своем, заполняются сухим барьерным материалом (БМ) на основе глин. Для недопущения выхода радиоактивных веществ из реакторного пространства весь объем ИББ должен быть равномерно заполнен БМ. Проблема создания такого объема заключается в сложности конфигураций металлоконструкций, из-за которых в процессе заполнения происходит образование пустот, заполненных воздухом.

В работе приведены результаты испытания технологий бесполостного заполнения помещений реактора барьерным материалом на специально разработанных стендах, имитирующих основные технологические особенности несущих металлоконструкций ПУГР. Проведены сравнительные испытания различных способов заполнения: подача под собственным весом, подача с применением шнека, различных вибрационных устройств и подача при помощи сжатого воздуха.

Результаты проведения стендовых испытаний послужили материалами для разработки модифицированной технологии бесполостного заполнения реакторных пространств, которая позволила заполнять полностью даже труднодоступные отсеки металлоконструкций [1].

1 Патент № 2534228 Российская федерация, МПК G21C 11/00 (2006/01). Способ заполнения реакторных пространств сыпучим барьерным материалом при выводе реакторов из эксплуатации по варианту захоронения на месте: № 2013126654/07: заявл. 10.06.2013: опубли. 27.11.2014 Бюл. № 33 / Антоненко М.В., Леонов А.В., Жирников Д.В., Чернов Б.И., Царьков И.А., Ломаско В.В.; заявитель ФГУП «ГХК».

СПОСОБ СНИЖЕНИЯ АКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕННОГО РЕАКТОРНОГО ГРАФИТА

Павленко А.П.

ФГУП «ГХК», 662972, Россия, г. Железногорск, ул. Ленина, д.53

E-mail:pavlenkoanastasia24@gmail.ru

В настоящее время в мире накоплено более 250 000 тонн графитовых радиоактивных отходов (РАО). Основным источником графитовых РАО являются 13 остановленных промышленных уран-графитовых реакторов. При отнесении облученного реакторного графита к «особым» РАО или нахождении в активной части реактора, вопрос его захоронения решается

созданием пункта долговременной консервации непосредственно в объекте. При хаотичном распределении отдельных радионуклидов по всему объему РАО нет универсального подхода к обращению с облученным графитом.

На сегодняшний день ведется множество работ, направленных на исследование свойств и состава графитовых радиоактивных отходов. Большинство уже опубликованных работ сходятся в одном: наведенная активность графитовых РАО в основном определяется активационными радионуклидами (^3H , ^{14}C , ^{55}Fe , ^{60}Co), продуктами деления (^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{125}Sb , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{155}Eu) и трансурановыми элементами (^{241}Am , ^{243}Am , ^{244}Cm). Наибольший вклад в общую активность вносит именно ^{14}C .

В работе [1] показано, что ^{14}C в графите, отобранном из российских реакторов, локализован в приповерхностном слое графита на глубине не более 50 нм. Для удаления радионуклидов поверхности графита могут быть применены многие способы: пиролитическая обработка, сжигание РАО, плазменная переработка. При этом образуются газообразные РАО.

В качестве одного из возможных вариантов снижения активности графитовых РАО может быть использован метод электрохимической дезактивации. В настоящее время этот метод используется для обработки радиоактивных отходов, образующихся при выводе из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов.

В работе представлены результаты экспериментов по электрохимической дезактивации облученного реакторного графита. Облученный реакторный графит использовался как электрод, а в качестве электролитических растворов были выбраны растворы: HNO_3 , H_2SO_4 , H_2O_2 . Показано, что коэффициенты дезактивации облученного реакторного графита по различным радионуклидам достигают величины в диапазоне значений от 10,7 до 22,8.

1. Bepala E.V., Pavliuk A.O., Zagumennov V.S., Kotlyarevskiy S.G. About chemical form and binding energy of ^{14}C in irradiated graphite of uranium-graphite nuclear reactors // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy, Yadernaya Energetika. – 2017. – V. 2017. – № 4. – P.116–126. DOI: 10.26583/npe.2017.4.11.

ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЛИНОСОДЕРЖАЩИХ ИНЖЕНЕРНЫХ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУГР

Павленко А.П.

ФГУП «ГХК», 662972, Россия, г. Железногорск, ул. Ленина, д. 53

E-mail: pavlenkoanastasia24@gmail.ru

К настоящему времени на территории РФ расположено 13 ПУГР, из них 11 находятся на стадии ВЭ (А, АИ, АВ-1,2,3, И-1, АДЭ-1,2,3,4,5, АД) [1].

Вывод из эксплуатации ПУГР может быть осуществлен по варианту «Захоронение на месте» путем изоляции РАО на территории размещения

ПУГР. При этом для надежной изоляции радионуклидов, содержащихся в материалах и конструкциях захораниваемых реакторных установок, прибегают к созданию дополнительных барьеров безопасности.

Искусственные барьеры безопасности на основе природных глин создаются, как правило, с помощью специально разработанной технологии бесполостного заполнения [2]. Однако такие барьеры безопасности могут быть подвержены внешнему негативному воздействию (техногенному или природному), что приводит к частичному ухудшению их противодиффузионных и противомиграционных свойств.

Для восстановления целостности и работоспособности глиносодержащих барьеров безопасности целесообразно использовать методы, не приводящие к еще большей деградации барьерного материала. В связи с этим целесообразно рассмотреть электроосмотический метод осушения.

В работе показано, что эффективнее всего удаляется раствор, имитирующий грунтовые воды из ИББ при напряжении 31,8 В и расстоянии между электродами 40 мм. В этом случае линейная скорость движения влаги составляет 2,5 мм/мин. Это позволяет полностью осушить глиносодержащий барьер безопасности обводненный 70 мл раствора в течении (7-8) часов. Таким образом, электроосмотический метод восстановления глиносодержащих инженерных барьеров безопасности позволяет концентрировать влагу возле одного из электродов, тем самым осушая прилегающую область глины.

1. А.В. Бушуев, А.Ф. Кожин, Е.В. Петрова, В.Н. Зубарев, Т.Б. Алеева, Н.А. Гирке, «Радиоактивный реакторный графит» Монография. М.: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2015.
2. Д.О. Чубреев, Г.В. Кузнецов, «Использование глинистых материалов для создания барьеров безопасности выводимого из эксплуатации реактора АД», Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов 327 (2016) 83-87.

MODELING THE THREAT ASSESSMENT AND ADVERSARY INTERRUPTION

Opoku S.E., Amoah P.A., Izgagin D., Stepanov B.P.
Tomsk Polytechnic University 634050, Tomsk, Lenin Ave., 30
E-mail: opoku@tpu.ru

A comprehensive threat assessment considers actual, inherent, and potential threats. The Anshar Radiation Source Calibration Laboratory and National Repository (RSCL) is a hypothetical facility which has been adapted for this research and is located in an industrial area near an international airport outside of a city with a population of 750,000.

The industrial area is used for processing and packaging the main export products for the country. There are several residences and apartment buildings located within approximately 300 m to the southwest of the RSCL. There is a significant amount of criminal activity in the general area at night as reported by the security forces, due to its location and proximity to various commercial properties. On average, there are five cars stolen per year or vandalized in the immediate vicinity. To tackle this concern, state actors conduct comprehensive and credible threat assessments followed by appropriate actions to improve radiological security.

Threat assessment is the practice of determining the credibility and validity of a potential threat, and to acknowledge the probability that the estimated threat can be activated into reality. This study analyzes a hypothetical radiological research organization using modeling tools. The research evaluates three (3) facilities at the radiological organization and their Physical Protection System (PPS) to assess possible entrances and diversion. The three (3) major facilities being considered for this research at the RSCL are the Calibration Laboratory (F1), the National Repository (F2), and the Interim Storage facility (F3). The buildings allocated for these facilities are strategically spaced from each other to allow effective transfer of materials and also to support routine security response concerns.

The site security plan prepared by the stakeholders has considered the need for periodic threat assessment to be conducted to support the response team and maintain effective security onsite. This condition with initial probabilities of adversary attack as 0.26, 0.15 and 0.42 leads the scenario into a state of varying probabilities of threat at the three (3) facilities being considered; F1, F2 and F3 respectively. The research conducts several repetitive runs of the threat assessment process using the modeling tools, by considering different response elements that could potentially be added to the design to reach the desired response margin and overall system effectiveness. After thirteen (13) simulation event trials, a steady state is reached with final probability of adversary attack values as 0.60, 0.09 and 0.14 for facilities F1, F2 and F3 respectively. The several trials conducted and the steady state reached serves as a guide for facility managers to acknowledge and determine the resources required to control adversary attacks at the various facilities considered at the nuclear organization.

ENHANCEMENT OF SECURITY CULTURE USING A PREDICTIVE MODEL TO PREVENT SABOTAGE AND THEFT AT RADIOLOGICAL FACILITIES

Shcheglova E.A., Amoah P.A., Izgagin D., Stepanov B.P.

Tomsk Polytechnic University Tomsk, Lenin Ave., 30

E-mail: eas81@tpu.ru

With the increase in the application of nuclear technology around the globe, there is a need to institute predictive and prudent measures at nuclear and radiological facilities and activities to adequately and effectively protect their materials from incidents and adversaries.

This implies that the human factor and security culture as defined by the International Atomic Energy Agency (IAEA) in the Nuclear Security Series No. 7, plays a crucial role in the entire nuclear security architecture of any organisation or state. Physical Protection Systems for nuclear facilities and radiological sources are designed to protect and/or prevent possible malicious acts.

The dynamic significant threat environment has evolved such that, relying on the perception that certain nuclear materials are self-protecting, can lead to the sabotage and unauthorized removal of facility assets by insiders. These assets are manned by management members and employees who are trained and trusted to maintain procedures and practices required for the routine operation and development of the associated facilities and activities.

The methodological approach utilized in this research as a predictive potential insider model adapts initial data from the threat group table of the hypothetical facility, Anshar Radiation Source Calibration Laboratory and National Repository (RSCL).

The initial state vector values adapted from the threat group table with a high, medium and low potential insider attribute analysis are; 0.42% 0.33% and 0.25% respectively of the employee population at RSCL.

This methodology is designed to quantify the likely outcome of an implemented internationally recommended security culture model to guide management of nuclear and radiological facilities in preventing sabotage and theft at nuclear and radiological facilities.

Over a 20 year period (ie. trials), involving an annual International Atomic Energy Agency (IAEA) recommended self-assessment of the facility security culture, a steady state of 0.38%, 0.35% and 0.27% of the employee population indicating a fairly balanced security system.

The obtained steady state will aid the managers of RSCL to acknowledge and make the necessary changes to the knowledge training development of personnel, the controlled authorized access granted to the employees at various divisions of the facility and control the level of authority granted to the employees.

ENSURING SECURITY WHEN USING RADIOACTIVE MATERIALS IN A RADIOLOGICAL FACILITY

Ansah M.N.S., Amoah P.A.

Scientific supervisor: Stepanov B.P.

Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30

E-mail: michaelansah67@gmail.com,

The number of radioactive materials used in the radiological facilities around the world demands for an effective security to be put in place. Ensuring the safe operation of facilities that uses radioactive materials has always been priority of States, personnel and the general public. The main idea is to keep these operating

radiation installations against growing terrorist threats and possible theft. Physical protection systems, fire safety, radioactive security, accounting and control of radioactive materials are practiced at radiological facilities to prevent any unauthorized actions from an outsider or even a worker of such facility. A Physical Protection System (PPS) is usually designed and implemented into these facilities to protect radioactive materials from adversaries which pose as possible threats. The purpose of the work is to articulate security requirements for handling radioactive materials at a radiological facility.

The evaluation of physical protection system designed for a hypothetical radiological facility against unauthorized actions is presented. In this research an Adversary Sequence Diagram (ASD) is developed and effectiveness of physical protection system is assessed through the use Estimate of Adversary Sequence Interruption (EASI model) for interruption of adversary action on a radiological facility. The estimated value of total probability of interruption P_I is calculated using the relation:

$$P_I = 1 - B_D$$

B_D is the combined non-detection probability which describes the probability that adversaries will not be defeated.

The resulting probability of interruption associated with the facility according to the selected path of the adversary is 0.486. After the improvement in some security measures put in place at the oncological center and running then model again, the probability of interruption for the facility increased to 0.565. The probability of interrupting the activities of an adversary abruptly towards the hypothetical radiological facility was increased by 7.9% indicating that the PPS provided for the hypothetical radiological facility has been improved in terms of reliability. It may be a valuable guiding principle for decision-makers when establishing adequate security requirements for handling radioactive materials for a radiological center.

1. Graves G.H. Analytical foundations of physical security system assessment // Ph.D. Thesis, Texas A&M University: College Station, TX, USA. – 2006. – P. 1-80.
2. Garcia, M. L. The Design and Evaluation of Physical Protection Systems // Second Edition, Sandia National Laboratories. – 2007. – p. 1-375.

НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННЫЙ КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ГРАФИТОВЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Ушаков И.А., Кряжева Т.Н.

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

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

E-mail: mamay2008@bk.ru

В настоящее время значительно увеличилось количество выводов из эксплуатации уран-графитовых ядерных реакторов. Важным аспектом является определение радионуклидов для создания эффективной защиты при за-

хоронении отходов. Также интерес представляют химические элементы, содержащиеся в графитовых радиоактивных отходах.

Цель работы – качественное определение элементного состава нейтронно-активационным методом и определение основных излучающих элементов в графитовых радиоактивных отходах.

Образцы графитовых отходов, полученные при выводе из эксплуатации уран-графитового ядерного реактора, были измельчены. Для измерения элементного состава и радионуклидов была отобрана проба графита массой 50,2 мг. Измерение радионуклидного состава осуществлялось на спектрометре GS2018 из особо чистого германия фирмы Canberra. На рис. 1 приведен логарифмический спектр измерения пробы на радионуклиды в течении 10 минут.

Облучение пробы графита осуществлялось в сухом канале №6 реактора ИРТ-Т (поток тепловых нейтронов - $2,9 \cdot 10^{13}$ нейтр./см²/с) в течении 30 минут. После однодневной выдержки графитовой пробы для распада короткоживущих радионуклидов, проба распаковывалась и измерялась на гамма-спектрометре GS2018. На рис. 2 приведен логарифмический спектр измерения пробы на элементный состав в течении 10 минут.

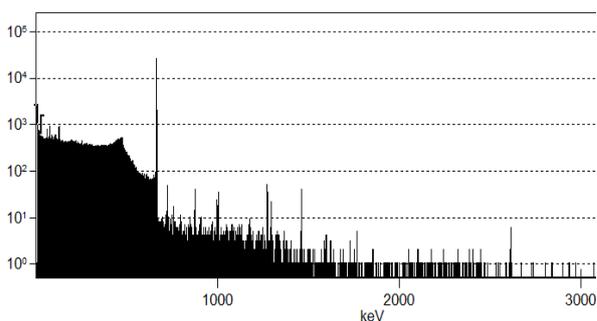


Рис. 1 Гамма-спектр пробы графита на радионуклиды

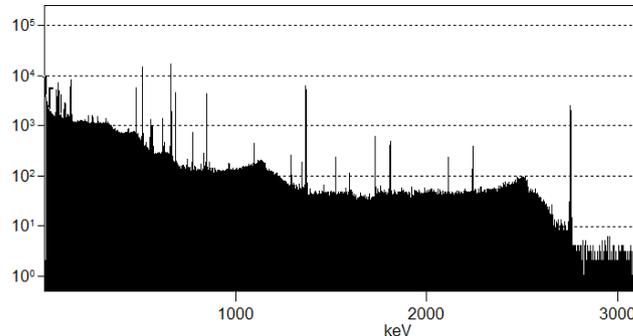


Рис. 2 Гамма-спектр пробы на элементный состав

Из представленных спектров можно судить о том что основным радионуклидом который излучает является ^{137}Cs . Во втором спектре обнаружены следующие радиоэлементы: ^{24}Na , ^{42}K , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{56}Mn , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{95}Zr , ^{124}Sb , ^{135}Xe , ^{137}Cs , ^{187}W , ^{239}Np , ^{241}Am . Также возможно восстановить исходные нуклиды, которые при реакции (n,γ) образуют вышеперечисленные радионуклиды.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Горлова Ю.Е., Гуменников Д.А.

АО «ТВЭЛ», 115409, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, д. 49

E-mail: yegorlova@tvel.ru

Для комплексного обеспечения ядерной и радиационной безопасности в РФ путем решения ключевых проблем ядерного наследия на государственном уровне реализуется ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года». В ходе выполнения

ФЦП создаются все необходимые элементы национальной системы обращения с ОЯТ и РАО, обеспечиваются необходимые темпы переработки накопленного ОЯТ и захоронения РАО, а также осуществляется вывод из эксплуатации ЯРОО объектов использования атомной энергии.

К объектам использования атомной энергии относятся так называемые радиохимические производства, деятельность которых была направлена на переработку облучённых урановых блоков с целью извлечения полезного продукта, а также побочных радионуклидов. Основными задачами в области переработки облученных урановых блоков являются:

- очистка (аффинаж) урана, а также наработанных в промышленном реакторе целевых продуктов от радиоактивных продуктов деления урана;
- получение азотнокислых растворов регенерированного урана, а также оксидов трансураниевых элементов;
- обращение с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО), образующимися в технологических схемах переработки.

Данный вид деятельности был характерен для всех крупных радиохимических производств ФГУП «ПО МАЯК», АО «СХК» и ФГУП «ГХК». Кроме того, радиохимическая технология экстракции разрабатывалась и отрабатывалась в АО «ВНИИНМ» и АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина». В результате использования указанной технологии на производственных объектах сложилась сложная радиационная обстановка, обусловленная загрязнением источниками β - и γ -излучения. Более того, ситуация с проведением отдельных видов работ осложняется наличием радионуклидов, например, ^{137}Cs , также присутствуют следующие изотопы стронция. Остановка промышленных уран-графитовых реакторов привела к свертыванию радиохимических производств. В связи с этим данные объекты и соответствующая инфраструктура были отнесены к ядерному наследию, подлежащему выводу из эксплуатации.

При участии АО «ТВЭЛ» ведутся работы по выводу из эксплуатации некоторых объектов Радиохимического завода АО «СХК», а также опытно-промышленной установки У-5 АО «ВНИИНМ», используемой до 1965 года для исследования отработки технологического процесса выделения и очистки от осколков деления целевых продуктов из облученного в ядерных реакторах топлива. Целью первого проекта является перевод производства по переработке облученных стандартных урановых блочков в радиационно-безопасное состояние с последующей ликвидацией, второго – демонтаж установки У-5 и обеспечение снятия объекта с государственного регулирующего контроля.

В ходе реализации проектов по выводу из эксплуатации радиохимических производств выполняются или уже выполнены следующие мероприятия:

- демонтаж основного технологического оборудования;

- демонтаж систем водоснабжения, водоотведения и отопления, существующего электротехнического оборудования; инженерных систем здания и строительных конструкций и др.;
- сортировка, фрагментация, контейнеризация, паспортизация и передача РАО в специализированную организацию на переработку и кондиционирование для приведения к критериям приемлемости и временного хранения кондиционированных РАО;
- сдача чистого металлолома, а также не имеющих радиоактивное загрязнение строительных отходов и химических реагентов на утилизацию в специализированные организации.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОГЛОЩЕННОЙ И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ В ПАКЕТЕ GEANT4

Кузьменко А.С.

Научный руководитель: Тимченко С.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ask147@tpu.ru

Ключевой задачей при работе с радиоактивными отходами является проектирование необходимого уровня защиты от ионизирующего излучения. Основным способом хранения РАО на сегодняшний день является использование контейнеров ТУК, для расчета которых в основном используются упрощенные инженерные методы расчета (табличные, номограммы, по слоям ослабления и методы конкурирующих линий), которые могут давать достаточно грубую оценку мощности ионизирующего излучения, проходящего через защиту контейнера. При этом, как правило, берется двойной коэффициент запаса толщины слоя защиты, что значительно повышает стоимость.

Прогресс программного обеспечения для численного моделирования и усовершенствование производительности вычислительной техники способствовали развитию методов статистического моделирования. Использование современных средств моделирования позволяет более точно осуществить расчет при хранении радиоактивных отходов. На сегодняшний день одним из инструментов моделирования взаимодействия ионизирующего излучения с веществом является пакет GEANT4. Данный пакет позволяет гибко задавать сложные геометрические формы экспериментальной установки с помощью булевых операций и проводить численный эксперимент по взаимодействию излучения с веществом методами Монте-Карло.

В работе показаны основные средства пакета GEANT4 по расчету защиты в контейнере ТУК, содержащем ОЯТ. Рассчитываются поглощенная и эквивалентная дозы при ионизирующем излучении (гамма, нейтронное и бета излучения) радиоактивного распада отработавшего ядерного топлива. Расчет дозы производится в точке по аппроксимационным и интерполяционным зависимостям табличных данных [1] коэффициентов ослабления и перевода флюенса нейтронов в эквивалентную дозу при различных диапазонах энергий частиц.

Точность полученных результатов хорошо согласуется с имеющимися данными открытых источников, что говорит о том, что пакет GEANT4 хорошо подходит для решения класса таких задач.

1. Моргунов В.В., Диденко Н.В., Трищ Р.М. Метод расчета поглощенной (эквивалентной) дозы и мощности поглощенной (эквивалентной) дозы ионизирующего излучения // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. - 2016. №18.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА ПРАКТИКЕ

Чеботарев К.Р.

Ленинградская АЭС, 188540, Россия, г. Сосновый Бор, промзона

E-mail: krc1@tpu.ru

За время существования атомной энергетики разработаны различные типы ядерных энергетических реакторов (ЯЭР), которые имеют ограниченный физико-технологический ресурс, определяющий период их безопасного функционирования. В настоящее время часть ЯЭР теряет заложенную проектом способность предотвращать аварии и прочие неблагоприятные эффекты. Обеспечение безопасной ликвидации негативных последствий использования атомной энергии является одной из приоритетных задач. По данным доклада, подготовленного Международным Агентством по Атомной Энергии (МАГАТЭ), на конец 2020 года в мире находятся 633 энергоблока АЭС и 138 из них находятся на различных этапах вывода из эксплуатации ЯЭР, расположенные в 32 странах [1]. Стоит отметить, что приведенные данные не учитывают промышленные, исследовательские, экспериментальные и транспортные реакторы.

В конце 2018 года остановлен первый энергоблок Ленинградской АЭС (ЛАЭС) для реализации начальной фазы вывода из эксплуатации. По результатам на август 2021 года выгружена последняя тепловыделяющая сборка из реактора в бассейн выдержки [2]. В бассейне рассеивается остаточное тепловыделение в течении пяти лет.

Таким образом, целью исследования является разработка комплексного метода вывода из эксплуатации энергоблоков и его последующая поэтапная оптимизация по результатам практического использования. Объектами применения метода по выводу из эксплуатации ЯЭР являются четыре энергоблока типа РБМК-1000, эксплуатируемых Ленинградской АЭС.

Достижение поставленной цели планируется реализовать посредством решения следующих задач:

- провести анализ и аналитическое обобщение состояния технологий демонтажа оборудования ЯЭР, обращения с радиоактивными отходами и обработавшим ядерным топливом;
 - разработать методы демонтажа оборудования реакторов с использованием дистанционно-управляемых механизмов.
1. Годовой доклад магатэ за 2020 год - Текст: электронный // Международное агентство по атомной энергии: официальный сайт. - 2021. - URL: <https://www.iaea.org/> (дата обращения: 10.10.2021).
 2. Первый – без топлива / Управление информацией и общественных связей. - Текст: электронный // Корпоративное издание «Вестник ЛАЭС». - 2021. - № 12. - С. 3. URL: <https://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/ae7/ae76d420a6d5bbf2822ee0e673cca553.pdf>.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПУГР, ВЫВЕДЕННОГО ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ВАРИАНТУ БЕЗОПАСНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ НА МЕСТЕ

Павленко А.П.

ФГУП «ГХК», 662972, Россия, г. Железногорск, ул. Ленина, д.53
E-mail: pavlenkoanastasia24@gmail.ru

При реализации вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР) по варианту «безопасное захоронение на месте» необходимым условием является долгосрочная изоляция РАО внутри консервируемого объекта [1]. Для обеспечения надежной изоляции основных элементов конструкции ПУГР, находящихся непосредственно на площадке размещения реактора, значимым является как целостность инженерных барьеров безопасности (ИББ), так и уровень радиоактивного излучения внутри выведенного из эксплуатации объекта.

Наиболее значимыми и подлежащими непрерывному контролю параметрами являются интенсивность излучения и температура внутри выведенного из эксплуатации ПУГР. Для обеспечения возможности доступа внутрь консервируемого объекта при сооружении ИББ устанавливают специальные инспекционные каналы. Поместив в канал датчик той или иной физической величины, контролируют состояния ПУГР. Однако большинству известным устройствам присущи значительные недостатки. Например, уменьшение точности измерения из-за накопления долгоживущих радионуклидов, возможность измерения только одного параметра и массивность исполнения.

Для эффективного контроля состояния выведенного из эксплуатации ПУГР можно использовать устройство радиационного и температурного контроля [2], оснащенное сменной защитой в виде коллиматора. В основе конструкции лежат сменные: блок детектирования γ -излучения (детекторы нейтронов прямого заряда) и термопреобразователь (термоэлектрические преобразователи кабельного типа), закрепляемые на конце наборной трубы. Конфигурация датчиков может быть легко изменена, что позволяет использовать устройство для попеременного измерения разных параметров и опускать устройство практически на любую глубину в инспекционный канал.

1. Концепция вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/documents/1123>.
2. Патент № 2716002 Российская федерация МПК G21C 17/00 (2006/01). Устройство радиационного и температурного контроля выведенного из эксплуатации уран-графитового реактора: № 2019138991: заявл. 29.11.2019: опубл. 05.03.2020 Бюл. № 7 / Антоненко М.В., Леонов А.В., Жирников Д.В., Чубреев Д.О., Беспала Е.В., Котов В.Н., Павленко А.П.; заявитель ФГУП «ГХК».

ANALYSIS OF MITIGATING THREATS OF UNMANNED AERIAL VEHICLE USING PHYSICAL PROTECTION SYSTEM ELEMENTS

Luqman A Bello

Nigeria atomic energy commission, Nigeria, Abuja

E-mail: lukmanabdullahi1@tpu.ru

The unmanned aerial vehicles (UAVs), popularly known as drones, are among the advancement of human civilization in the sphere of application of innovative technologies. They are capable of traversing the flying space forming their assigned tasks without human piloting. Drones are used both military and civilian in various applications such as climate monitory, surveillance, agriculture, entertainment, and the rest.

However, drone technology is being exploited by some nonstate actors for malicious activities such as sabotage, surveillance, and assessment of some protected facilities such as nuclear power plants, military formation, airports, government buildings, or reserved areas. Several reports have been documented, concerning the activities of unknown drones in some highly protected areas.

The study analyzed models and simulations that have been done against the threat of drones around a nuclear facility using the function of physical protection system (PPS) as a reference guide. Physical Protection System functions should meet three basic elements (detection, delay, and response) and it is required to protect the nuclear facility against the possibility of bombing, sabotage, and theft. The system must be fast in performance to achieve sufficient time for the arrival of response forces and complete the defense about the property in time, thwarting the adversary and neutralizing the implementation of its mission.

The study showed that little work has been done on the protection of nuclear facilities against the activities of unknown drones. The study shows that integration of some elements of physical protection system can effectively detect the movement of approaching drones and however shows that there is no comprehensive strategy on the physical protection system to delay an approaching drone. Presently, the anti-drone procedure stages: detection-identification-neutralization should be fully incorporated into the design base threat procedure and assessment of the physical protection system.

**ДЕЗАКТИВАЦИЯ ОБРАЗЦОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ
ЗАГРЯЗНЁННЫХ РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ С
МАСЛЕННЫМИ ЗАГРЯЗНЕНИЯМИ НА ПОВЕРХНОСТЯХ**

Сычев А.В., Пак А.Д. Баженов Д.А.

Сибирский химический комбинат, 636036, г. Северск, ул. Курчатова, 1

E-mail: antonn950605@yandex.ru

В настоящее время в РФ накоплено большое количество металлических конструкций с разной степенью активности. Дезактивация выведенного из эксплуатации оборудования – обязательный этап в комплексе мероприятий по улучшению радиационной обстановки на промышленных площадках предприятий госкорпорации «Росатом».

Одним из важных и актуальных процессов с применением химической дезактивации, является удаление масляных загрязнений с металлических поверхностей, для применения которой необходимо подобрать реагенты и условия.

Можно использовать органические растворители, позволяющие растворять жировые загрязнения органического и минерального происхождения. Данный процесс происходит в результате десорбции и диффузии. Преимуществами применения органических растворителей является: удаление толстых слоев масляных загрязнений и высокая скорость обезжиривания. Недостатки: токсичность, воспламеняемость, высокая чистота растворителя и цена.

Еще одним реагентом являются щелочные растворы (NaOH). Под их действиями происходит расщепление эфирных связей омыляемых жиров с образованием растворимых в воде загрязнений. При этом не омыляемые жиры не разлагаются и образуют эмульсию, которые способствуют отделению масла от поверхности металла.

Для повышения эффективности процесс обезжиривания проводят при температуре 50-60°C, т.к. снижается вязкость обезжиривающегося раствора, что способствует лучшей смагчиваемости поверхности.

Исследования показали, что для эффективного удаления масляных загрязнений концентрация раствора должна не превышать 10%. Для усиления эффекта были применены добавки (карбонат натрия или кальция, гидрофосфат натрия). CaCO₃ – не способствует удалению жировых отложений. Na₂CO₃ – усиливает дисперсию и размягчающий эффект, но не дает достигнуть остаточного уровня по α и β активностям. Использование Na₂HPO₄ существенно снизила β активность различных образцов.

Исследования показали, что для эффективного удаления жировых загрязнений в щелочных растворах должно составлять не менее 2 часов, при этом, один раз в сутки контролировать величину pH раствора (12,5-13,0). В докладе обсуждается алгоритм по очистке МОЗРВ от масляных загрязнений, а также возможности снижения по α и β активностям.

ЖИДКОСТНАЯ ДЕЗАКТИВАЦИЯ ОБРАЗЦОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ЗАГРЯЗНЁННЫХ РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Сычев А.В., Пак А.Д. Баженов Д.А.

Сибирский химический комбинат, 636036, г.Северск, ул. Курчатова, д. 1

E-mail: antonn950605@yandex.ru

Металл, имеющий поверхностное радиоактивное загрязнение, можно дезактивировать до норм СанПиНа и повторно использовать в металлургической промышленности. Поэтому дезактивация выведенного из эксплуатации оборудования – обязательный этап в комплексе мероприятий по улучшению радиационной обстановки на промышленных площадках предприятий госкорпорации «Росатом».

Одним из важных процессов с применением химической дезактивации, является удаление масляных загрязнений с металлических поверхностей, для применения которой необходимо подобрать реагенты и условия.

Проведенные эксперименты показали, что обработка щелочными растворами не позволяет добиться снижения активности до требуемых значений. Следовательно, образцы должны быть подвергнуты дополнительной обработке в кислых растворах ($H_2SO_4 + Al_2SO_4^3$ и $H_2SO_4 + HF$).

Обрабатываемые образцы подвергали радиационному контролю с обеих сторон. На образцах не загрязненных маслом были получены положительные результаты по дезактивации. Исследования показали, что для обезжиривания и дезактивации загрязненных МОЗРВ можно использовать обработку раствором гидроксида натрия с гидрофосфатом натрия или раствором гидроксида натрия с карбонатом натрия. Затем необходимо проводить обработку раствором серной кислоты с сульфатом алюминия или смесь серной кислоты и фторводородной кислоты. Раствор серной кислоты с сульфатом алюминия показал хороший результат при дезактивации образцов из черной стали по α -активности (в 4-5 раз) по β -активности (в 2-3 раза).

Первый этап исследования показал, что выбранный для дезактивации реагенты позволяют частично дезактивировать поверхностей металлов, но не достигают заданных значений активностей. Поэтому, на втором этапе исследования были повышены концентрация, температура раствора и добавлена плавиковая кислота.

Входе эксперимента было установлено, что при использовании более концентрированных растворов и более высоких температур наблюдается эффективная очистка металлов, в результате которой исчезли почти все коррозионные отложения. При этом все образцы были дезактивированы до требуемых значений, по сумме α -нуклидов (не более 2,4 част/мин*см²) и β -нуклидов (не более 24 част/мин*см²). При проведении дезактивации, необходимо не менее одного раза в сутки контролировать концентрацию серной кислоты в моечном растворе, а также, содержание свободного фтор-иона, который будет расходоваться с образованием водорастворимого комплекса с железом.

ANALYTICAL REVEIW OF HISTORICAL DISCHARGE DATA

Pushkarskiy R. V., Amoah P. A., Ansah M. N. S.

Scientific Supervisor: Silaev M. E., Doctor of Technical Sciences, Professor

Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Ave., 30

Tomsk Polytechnic University

E-mail: rvp6@tpu.ru

Several candidate reactor designs have been considered for analytical study focusing on their liquid and airbourne discharge. The candidate reactors considered are Westinghouse AP1000, EDF/Areva EPR, GE-Hitachi ESBWR and AECL ACR-1000. The discharge groups being considered are: Liquid tritium, Liquid others, Airborne tritium, Airborne noble gases, Airborne I¹³¹, Airborne particulates and Airborne C¹⁴ with values of 1.06E-02, 1.32E-07, 1.56E-02, 1.47E-02, 8.59E-08, 0.00E+00, 1.80E-02 GBq/GWeh respectively, as the best performing predecessor reactors by discharge. From the data available, there is no simple, clear or easily explainable relationship between the candidate reactors being considered and the radionuclide discharge considered. It can however be assumed that an increase in the power output of a reactor, would result in an increase in discharges into the environment. However, this is not always the case. Instead, the majority of candidate reactors considered display a mix of characteristics including proportional and abnormal events. The methodology used has shown that a large standard deviation indicates that the data points fluctuate significantly about the mean. A small standard deviation indicates that the data points are clustered more closely around the mean.

The ACR-1000 predecessors provide the highest total liquid and airborne averages and highest standard deviations; ESBWR predecessors give the lowest total liquid and airborne averages and the lowest standard deviations; EPR and AP1000 predecessors both show small variation in total liquid and airborne averages, when compared with the ACR-1000 and ESBWR predecessors. It is expected that the radiological impacts of the reactor predecessor discharges would serve to support future research with the conclusions drawn. This radiological impact assessment and its analysis would aid in the investigation of areas and environmental surroundings in proximity and with reference distance from reactor sites. The annual discharge data and the levels reported are subject to variation due to local, climatic and other effects. Thus, these discharges may be clustered around specific periods of the year for a particular reason. The GALE code has been used by experts to predict discharges for candidate reactor designs. The predicted discharges from each of the four proposed candidate reactor designs indicate that the ESBWR and the EPR designs are the most ambitious for liquid and airborne discharges respectively. The GALE code has been used to predict 3.82, 3.58, 0.382 and 12.6 GBq/GWeh for AP1000, EPR, ESBWR and ACR-1000 for liquid discharge respectively and 43.1, 0.13, 11.4 and 6.97 GBq/GWeh for AP1000, EPR, ESBWR and ACR-1000 respectively for airbourne discharge.

ОЦЕНКА ДОЛИ СВОБОДНОГО ОБЪЕМА В ТАБЛЕТКАХ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОЙ МАТРИЦЫ

Бабаев Р.Г.

Сибирский химический комбинат, 636036, г. Северск, ул. Курчатова, д. 1

E-mail: babaevrenat92@gmail.com

В процессе проведения эксперимента по изучению свойств модельных топливных таблеток на основе углеродной матрицы требовалось провести оценку величины свободного объема, то есть объема пор. В связи с этим первоначально был проведен ряд экспериментов для определения значения истинной плотности используемого для изготовления таблеток углерода. В результате анализа полученных нами величин плотности таблеток, было показано, что наиболее верно они описываются при значении истинной плотности равной 1,9 г/см³. На основании имеющихся данных определили истинный объем каждой таблетки, то есть объем углерода используемого для ее изготовления, а затем, вычитая его из реального объема получившейся таблетки, нашли величину объема пор. Полученные значения абсолютного и относительного объема пор углеродных таблеток, изготовленных при давлениях от 20 до 100 МПа, приведены в таблице.

Таблица – Результаты расчета объема пор

P, МПа	V, см ³	V _{пор} , см ³	V _{пор} , %
20	0,4006	0,1916	47,8
40	0,3862	0,1757	45,4
60	0,3758	0,1653	43,9
80	0,3519	0,1429	40,6
100	0,3503	0,1361	38,8

Из представленных в таблицы данных видно, что с ростом величины приложенного давления, значение доли свободного объема уменьшается, а в целом, полученные таблетки имеют достаточно развитую пористость.

Кроме того, известно, что для теоретического определения доли пор в материале можно использовать уравнение А.С. Бережного:

$$\frac{\rho_{\text{пр}}}{\rho_{\text{ист}}} = b \cdot \ln \left(\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{крит}}} \right) + 1 ,$$

где $\rho_{\text{пр}}$ – практическая плотность материала, $\rho_{\text{ист}}$ – истинная плотность, b – коэффициента уплотняемости; $P_{\text{крит}}$ – критическое давление прессования и $P_{\text{пр}}$ – практическое давление прессования.

Поэтому были определены значения $P_{\text{крит}}$ и b , которые соответственно оказались равными 6269 МПа и 0,0947.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов сделана оценка пористости модельных топливных таблеток на основе углерода и найдена формула для ее теоретического определения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ УГЛЕРОДНОЙ МАТРИЦЫ В МОДЕЛЬНЫХ ТАБЛЕТКАХ ДИСПЕРСНОГО ТОПЛИВА

Бабаев Р.Г.

Сибирский химический комбинат, 636036, г. Северск, ул. Курчатова, д. 1

E-mail: babaevrenat92@gmail.com

Разработка новых методик оценки свойств топливных таблеток, таких как плотность, пористость и прочность, является актуальной проблемой в процессе разработки и исследования новых видов топлива.

В данной работе приведены результаты экспериментов по определению истинной плотности углерода, используемого нами в качестве матричного материала при изготовлении модельных топливных таблеток дисперсного топлива.

В процессе проведения экспериментов были изготовлены таблетки из чистого углерода, спрессованные при различных давлениях, и определен ряд их характеристик, значения которых приведены в таблице.

Таблица – Давление прессования и параметры готовых таблеток

Давление, МПа	Масса, г	Объем, см ³
20	0,397	0,4006
40	0,4	0,3862
80	0,397	0,3519
100	0,407	0,3503
150	0,399	0,3247
200	0,404	0,316
250	0,403	0,3072

В результате аппроксимации значений плотности таблеток, рассчитанной по данным таблицы, установлено, что истинная плотность используемого нами в опытах углерода составляет 1,9 г/см³.

Анализ литературных источников показал, что величина предельной или истинной плотности различных марок углерода лежит в диапазоне от 1,7 до 1,9 г/см³ [1], что хорошо согласуется с полученным нами значением.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов была получена величина предельной плотности для применяемого в опытах углерода, что позволит проводить оценку пористости модельных топливных таблеток, полученных на его основе.

1. Кинле, Х. Активные угли и их промышленное применение / Х. Кинле, Э. Бадер. – Л.: «Химия», 1984. – 216 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДОВ ИМИТАТОРОВ КОМПОНЕНТ ДИСПЕРСНОГО ТОПЛИВА

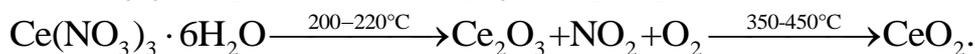
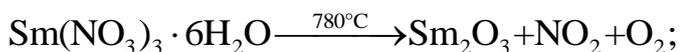
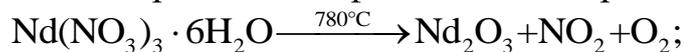
Видяев Д.Г., Зайцев И.К.

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

E-mail: ikz1@tpu.ru

В опытах по отработке процесса фабрикации таблеток дисперсионного топлива с углеродной матрицей получали таблетки разного химического состава, состоящие из углерода с добавлением оксидов имитаторов, в качестве которых использовались оксиды церия, неодима и самария.

Оксиды Nd_2O_3 , Sm_2O_3 и CeO_2 получали путем термического разложения кристаллогидратов квалификации х.ч. по реакциям:



Поскольку процесс получения оксида церия многостадийный и нет точных данных по температурам реакций, был проведен термический анализ. Результат термического анализа разложения кристаллогидратов церия в режиме линейного нагрева приведен на рисунке.

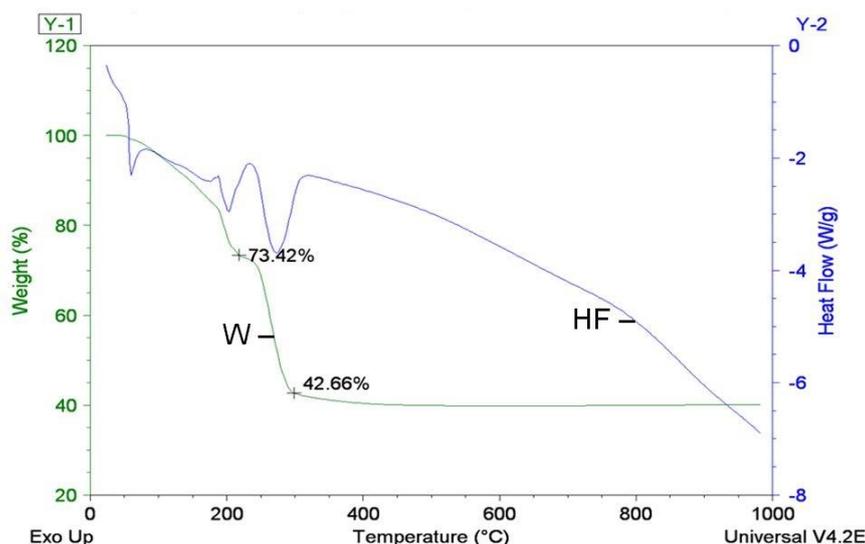


Рисунок — Кривые термического анализа образцов кристаллогидрата церия

Из рисунка видно, что на первом этапе разложения происходит процесс дегидратации, а затем в два этапа, как и указано в литературе, протекает разложение $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$: на первом этапе образуется Ce_2O_3 при температуре 220°C, на втором — CeO_2 при 320°C.

Кроме того, был проведен анализ разложения кристаллогидратов неодима и самария и установлено, что значения температур протекания реакций совпадают с данными литературных источников.

Полученные в процессе исследований результаты будут использованы при отработке процесса изготовления модельных топливных таблеток.

ОТРАБОТКА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ ПРЕСС-ПОРОШКА МОДЕЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК

Зайцев И.К., Сукотнова В.В.

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

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

E-mail: ikz1@tpu.ru

Отработка процессов приготовления и формирования порошков с целью получения модельных топливных таблеток с заданными свойствами является актуальной проблемой при разработке дисперсионного ядерного топлива.

Цель данной работы заключалась в отработке на оксидах-имитаторах начальной стадии процесса получения топливных таблеток с углеродной матрицей – стадии приготовления пресс-смесей.

В ходе эксперимента были получены таблетки разного химического состава: состоящих из углерода с добавлением оксидов имитаторов, в качестве которых использовались оксиды церия, неодима и самария. Кроме того, для оценки влияния на структуру и свойства таблеток пластификатора, в некоторых случаях в смесь добавляли стеарат натрия.

Известно, что смешение порошков можно проводить сухим и мокрым способом, с применением жидкой технологической связки. На основании тестовых экспериментов, нами был выбран второй вариант, так как при этом получалось равномерное распределение компонентов по смеси. Таким образом, стадия изготовления пресс-порошка заключалась в смешивании компонентов (технического углерода, оксидов и стеарата), введении временной технологической связки и создании формовочной массы с заданной структурой и свойствами.

В качестве технологической связки, для лучшего перемешивания, был выбран этиловый спирт, поскольку имеет высокую скорость испарения.

Подготовку пресс-порошков проводили следующим образом:

– руководствуясь требуемым массовым процентным содержанием компонентов для каждой смеси готовили соответствующее количество углерода, оксидов и пластификатора;

– углерод смачивали спиртом до получения однородного раствора;

– в получившийся раствор добавляли оксиды и пластификатор.

– проводили тщательное перемешивание получившегося раствора.

Остатки органики удалялись путем прокаливания пресс-порошка в течение 15 минут при температуре 70 °С – ниже температуры плавления пластификатора.

Таким образом, в процесс проведения исследований была отработана методика получения пресс-порошка различного состава для изготовления модельных топливных таблеток.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ИЛОВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ БАССЕЙНОВ ВЫДЕРЖКИ

Чеботарев К.Р.

Ленинградская АЭС, 188540, Россия, г. Сосновый Бор, промзона

E-mail: krc1@tpu.ru

Принцип минимизации рисков и затрат, при выборе оптимального метода обращения с радиоактивными отходами (РАО), предусматривает проведение первичной регистрации РАО, по результатам которой они должны быть классифицированы на РАО: «удаляемые», «перемещаемые в централизованные пункты захоронения» и «особые», захораниваемые в месте их нахождения. Это решение является базой нормативного требования по обязательному захоронению РАО. В дальнейшем можно повышать безопасность пунктов размещения «особых РАО» (перевод в пункты консервации или захоронения РАО), а также извлекать «удаляемые РАО» и захоранивать их в централизованных пунктах захоронения РАО. Выделение категории «особых РАО» позволяет учитывать специфику образования ядерного наследия и обязательства государства в сфере обращения с РАО.

При временном хранении или долговременном захоронении РАО должна быть обеспечена их долговременная надежная изоляция от окружающей среды. Это обеспечивает защиту от радиации будущих поколений и биологических ресурсов. Ответственность за обеспечение безопасности РАО лежит на современных бенефициарах ядерной энергии и не должна перекладываться на следующие поколения.

Обзор методов обращения с РАО показывает, что их включение в твердые матрицы с получением монолитной структуры обеспечивает надежную фиксацию. Распространенными методами отверждения РАО являются: цементирование, битумирование, остекловывание и включение в керамические матрицы. В отвержденной форме РАО легче хранить, надежно обеспечивая их изоляцию на длительное время.

При геологическом захоронении безопасность обеспечивается за счет системы инженерных барьеров на пути возможного распространения радионуклидов. Нарушение проницаемости одного из барьеров безопасности, разрушающее воздействие внешних факторов природного или техногенного происхождения не должны снижать уровень долговременной безопасности пункта размещения «особых РАО». Глина рассматривается как наиболее приемлемая среда для захоронения РАО.

После извлечения из реактора ядерное топливо выдерживается в бассейнах. В бассейнах временного хранения образуются радиоактивные иловые отложения, имеющие природное происхождение наносного характера и содержат радионуклиды. В докладе обсуждаются физико-химические характеристики исходных радиоактивных иловых отложений и оптимальный состав смеси глин в качестве барьера безопасности.

ОТРАБОТКА СОСТАВА МОДЕЛЬНЫХ ТАБЛЕТОК ДИСПЕРСИОННОГО ТОПЛИВА

Бабаев Р.Г.

АО «Сибирский химический комбинат», г. Северск

E-mail: babaevrenat92@gmail.com

Деление ядер тяжелых элементов в ядерном реакторе осуществляется в топливном сердечнике. Топливные сердечники могут быть однородными или дисперсионными в зависимости от структуры топлива. Однородные сердечники бывают двух видов: металлические, представленные ураном, плутонием, торием и их сплавами и керамические, включающие в свою очередь нитридами, карбидами, окислами и другими соединениями урана, тория, плутония.

Дисперсионные топливные сердечники состоят из частиц делящегося вещества, которые распределены в матрице из неделящихся материалов (графита, керамики, металлов). Основным преимуществом дисперсионного ядерного топлива является высокая теплопроводность. Кроме того, данное топливо имеет ряд других достоинств: высокие показатели по радиационной стойкости при глубоком выгорании, прочность, сопоставимая с прочностью керамического топлива, уникальные ядерно-физические, а также противокоррозионные свойства [1].

При этом теплопроводность и пластичность зависят от материала матрицы. Нами в качестве материала было решено использовать углерод и провести исследования зависимости параметров топливных таблеток от состава и условий их изготовления на модельных составах.

Анализ литературных данных показал, что делящиеся материалы, используемые в дисперсионном топливе, представлены в виде смесей оксидов тория, урана и плутония [2]. Ввиду их повышенной радиационной активности изготовление топливных таблеток и дальнейшие их исследования представляются сложной задачей. Поэтому данные оксиды в составе таблеток были заменены на имитаторы, которые обладают наиболее близкими к ним свойствами. В качестве имитаторов делящихся материалов решено было использовать соответственно оксиды CeO_2 , Nd_2O_3 и Sm_2O_3 . При этом объемное содержание оксидов в таблетке составляло 15 %.

В итоге, в результате проведенного анализа был отработан состав таблеток дисперсионного топлива с оксидами имитаторами, использованный в дальнейших экспериментах.

1. Корсаков В.С., Выговский В.Ф., Михан В.И. Технология реакторостроения. – М.: «Атомиздат», 1977. – 270 с.
2. Дисперсионное ядерное топливо / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев, С. С. Толстоухов. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ РАДИОНУКЛИДОВ АКТИВАЦИОННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОБЛУЧЕННОМ ГРАФИТЕ УРАН-ГРАФИТОВЫХ РЕАКТОРОВ

Кан Р.И.¹, Котляревская А.С.²

Научный руководитель: Павлюк А.О., к.ф.-м.н.

¹Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых реакторов, 636000, Россия, Томской обл., г. Северск, Автодорога 13, зд.179А

²Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pao@dnrc.ru

Начиная с конца 2018 г. в РФ начался поэтапный окончательный останов энергетических уран-графитовых реакторов (УГР) РБМК-1000 и ЭГП-6. В настоящее время окончательно остановлены энергоблоки №1 и №2 Ленинградской АЭС и энергоблок №1 Билибинской АЭС. В ближайшее десятилетие предполагается окончательный останов остающихся в настоящее время в эксплуатации девяти РБМК-1000 и трех ЭГП-6.

В связи с этим актуализировалась потребность проведения исследований остаточного содержания радионуклидов в облученном графите УГР. Изотопный состав, уровни удельной активности радионуклидов являются ключевыми факторами, определяющими потенциальную опасность графитовых РАО. Они заложены в основу классификации РАО в соответствии с Постановлением правительства от 19 октября 2012 г. N 1069 и определяют варианты обращения с облученным графитом.

В АО «ОДЦ УГР» совместно с ИФХЭ РАН им. А.Н. Фрумкина были проведены исследования пространственного распределения ключевых для вывода из эксплуатации радионуклидов ^{14}C , ^{36}Cl и ^{60}Co . Отбор проб проводился на ПУГР АДЭ-5 как в объеме графитовой кладки, так и из извлеченных блоков. По полученному массиву результатов определены и обобщены особенности накопления и пространственного распределения радионуклидов. Предложены новые интерпретации некоторых особенностей пространственного распределения радионуклидов ^{36}Cl и ^{60}Co в графите УГР.

Полученные результаты были использованы для разработки и аттестации методик характеристики графитовых блоков УГР по радионуклидам ^{14}C , ^{36}Cl и ^{60}Co [1, 2]. Методики были успешно применены в ходе исследований остаточного содержания радионуклидов в графитовых кладках реакторов РБМК-1000 ЛАЭС [1].

1. Павлюк А. О., Котляревский С. Г., Кан Р. И., Волкова А. Г., Захарова Е. В., Илюхина М. А., Горшков В. Б., Дорофеев А. Н., Зиннуров Б. С., Комаров Е. А. Подходы к характеристике графитовых блоков УГР по бета-излучающим радионуклидам ^{14}C и ^{36}Cl . Апробация на реакторах типа РБМК-1000 // Радиоактивные отходы. 2021. № 2 (15). С. 21–32. DOI: 10.25283/2587-9707-2021-2-21-32.
2. Павлюк А. О., Котляревский С. Г., Кан Р. И., Волкова А. Г., Захарова Е. В., Комаров Е. А. Подходы к характеристике по гамма-излучающим радионуклидам графитовых блоков и их контейнеризации при демонтаже кладок УГР // Радиоактивные отходы. 2021. № 3 (16). С. 30—43. DOI: 10.25283/2587-9707-2021-3-30-43.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

- А -

Александров Г.О. 22, 24
Алексеев Н.В. 107
Андреев Д.В. 59
Альмяков П.Э. 95, 98, 99, 100, 101
Амоан Р. А. 129, 130, 131, 141
Ansah M.N.S 131, 141

- Б -

Бабаев Р.Г. 142, 143, 147
Басс В.И. 57, 60
Bedhesi L. 109
Баженов Д.А. 139, 140
Беляков Д.М. 28, 29
Беляева И.В. 93, 94
Беспала Ю.Р. 114
Беспала Е.В. 113, 114
Бордулев Ю.С. 74, 106
Борецкий Е.А. 83, 84, 86, 87
Булавская А.А. 104

- В -

Wang Lijun 44
Ван Цайлунь 51, 115, 116, 125
Вергун А.П. 28, 29, 30
Верлицкий М.В. 17
Верхорубов Д.Л. 85
Видяев Д.Г. 85, 144
Волгин А.В. 113
Вукулов А.В. 77

- Г -

Головков Н.И. 35, 36, 40, 71
Горлова Ю.Е. 133
Григорьева А.А. 104
Гуляев Е.А. 46
Godwin Ini 38
Губанов С. М. 39
Гуменников Д.А. 133
Gusev V.E. 27

- Д -

Дорофеева Л.И. 30

- Е -

Ельмиров Д.В. 67
Есильканов Г.М. 119

- Ж -

Журавлев Н.П. 123

- З -

Зайцев И.К. 144, 145
Зозуля М.В. 111

- И -

Иванов К.С. 57
Иванов В.И. 86, 87
Ижойкин Д.А. 47
Izgagin D. K. 129, 130

- К -

Кан Р.И. 148
Каргина П.С. 18
Капитонов А.Б. 70, 105
Карелин В.А. 120, 120, 122, 123
Карелина Н.В. 120, 122
Каренгин А.А. 56, 58, 66, 78, 79
Кейних Д.Д. 19
Келсингазина Р.Е. 98, 101
Ketter E.K. 110
Киеу Б.Т. 120, 122
Кизеева В. Н. 102
Кириченко В.А. 21
Киселев С.С. 46
Котляревская А.С. 148
Кроткевич Д.Г. 74
Кряжева Т.Н. 132
Кузнецов С.Ю. 58, 69, 78

Кузнецова А.А. 56
Кузьменко А.С. 80, 135
Кулешов Д. А. 39

- Л -

Лаврентьев К.А. 114
Лаптев Р.С. 55, 74
Ларионов В.В. 91
Ле Ш.Х. 120
Лобков Д.С. 121
Ложников Ф.И. 95, 96, 97
Ломьгин А.Д. 55
Лоскутников В.П. 32
Лубнин С.С. 16, 22, 23, 24
Luqman A Bello 138
Лукин А.В. 47
Луценко Ю.Ю. 75

- М -

Макасеев А.Ю. 111
Маренкова Е.А. 70, 105
Масленников Ю.С. 32
Маслюков Е.В. 16
Mashau M. 109
Милойчикова И.А. 104
Мостовщиков А.В. 74
Мюсова А.Е. 75

- Н -

Неволин Н.Р. 70, 105
Нерода А.А. 91
Никитин И.В. 121
Новикова В.Д. 124
Новоселов И.Ю. 56, 63

- О -

Огородников С.А. 60
Ороки S. E. 129
Оспанова Ш.С. 48, 49, 50

- П -

Павленко А.П. 126, 127, 128, 137
Пак А.Д. 139, 140
Палкин В.А. 16, 23
Parimala Rangan
Fidel Castro 73
Петров М.В. 20
Петракова Н.В. 94
Пластун С. А. 98, 101
Побережников А.Д. 76, 77
Покровская Е.А. 108
Помесячная Е.Д. 64
Попов А.В. 106
Pushkarskiy R. V. 141

- Р -

Распутин И.В. 123
Расторгуев В.И. 62, 63
Рогова Н.С. 108
Рахимжанова Л.А. 48, 49, 50

- С -

Савостиков Д.В. 86, 87
Сацук Д.В. 77
Семенов А.С. 90
Sidorenko V. 81, 82
Смирнов А.Ю. 26, 27
Смирнов С.В. 76
Сосновский А.С. 72
Сукотнова В.В. 17, 145
Суняйкина А.А. 58, 78
Ставицкая К.О. 95, 96, 97, 99
Stepanov V.P. 129, 130
Субботина К.А. 76
Сухарь П.А. 25
Сүй Ш. 91
Сычева А.А. 30, 34
Сычев А.В. 139, 140

- Т -

Терешкина П.О. 102
Тихонов А.Е. 61, 63, 88
Тундешев Н.В. 68
Турбина И.А. 19

- У -

Ушаков И.А. 32, 106, 132
Umar Mustapha Adam 37

- Ф -

Филатов Н.А. 107

- Х -

Хорохорин Д.М. 52, 53
Хорохорин В.С. 111
Хужажинова К. А. 117

- Ц -

Цхе А.А. 72

- Ч -

Чеботарев К.Р. 136, 146
Черепнев М. С. 100, 103
Чертков М.С. 31

Чистов А.В. 26
Чистяков С.Г. 107
Чумаков Д.К. 103
Чуприна А.Б. 93
Чуприна А.В. 93, 94

Щ

Shcheglova E. A. 130
Щелканов А.А. 46
Щербина Д.С. 65

- Ш -

Шамин В.И. 111
Шестакова Л.А. 64
Шикерун К.Т. 45, 92
Шинкевич Р.А. 33,42
Шукшина Д. Д. 115, 116, 125
Шумило А.В. 119

- Ю -

- Я -

Яковлев Г.А. 118

Научное издание

**ИЗОТОПЫ: ТЕХНОЛОГИИ,
МАТЕРИАЛЫ И ПРИМЕНЕНИЕ**

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

Издано в авторской редакции

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

Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 8,00. Уч.-изд. л. 6,42.
Заказ 2667. Тираж 50 экз.

ООО «Офсет-центр». 634029, г. Томск, пер. Плеханова, 11