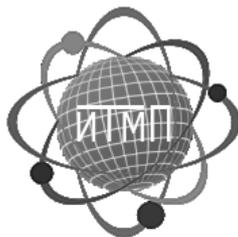


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



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

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

19 ноября - 23 ноября 2018 года



**Инженерная школа
ядерных технологий**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Томск -2018

УДК 621.039.3(063)

ББК 35.364лО

Изотопы: технологии, материалы и применение:
Материалы V Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (19 ноября - 23 ноября 2018 г.) Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Графика, 2018. – 122 с.

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

УДК 621.039.3(063)

ББК 35.364лО

Мероприятие проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований грант № 18-38-10054 номер госрегистрации (ЦИТиС): АААА-А18-118101890015-1

© ФГАОУ ВО «Томский политехнический университет, 2018

ПРИВЕТСТВИЕ УЧАСТНИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ

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

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

Новым направлением является получение моноизотопных, 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, что приводит к более высокой эффективности и безопасности работы реактора.

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

Основной задачей проводимой конференции является обобщение опыта исследований и разработок в области технологий получения изотопов и использования соединений заданного изотопного состава в различных

отраслях народного хозяйства. Конференция призвана активизировать развитие науки и атомных производств страны, обеспечить интеграцию усилий работников вузов, НИИ и промышленных предприятий в решении наиболее актуальных проблем ядерной энергетики, укрепить связи образовательных учреждений с предприятиями отрасли, дать возможность публичного обсуждения информации о новых технологиях и научных направлениях, обеспечить продвижение научно-технических разработок в производство и повышение качества подготовки молодых специалистов.

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

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

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: Оствальд Р.В. к.х.н., доцент, зам. проректора ТПУ по научной работе и инновациям

Члены программного комитета

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

Li Hongda - Associate Professor Shenyang Ligong University, Equipment engineering college, Китайская народная республика

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

Кенжин Е.А., генеральный директор, Институт ядерной физики Министерство энергетики Республики Казахстан, Республика Казахстан

Вурим А.Д., заместитель директора, Институт атомной энергии Национального ядерного центра Республики Казахстан, Республика Казахстан

Дуйсебаев Б.О. - начальник Управления науки АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ», Республика Казахстан

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

Скорынин Г.М. - д.т.н., советник генерального директора АО "ПО ЭХЗ", Россия

Ильин С.А. - директор завода разделения изотопов ОАО «Сибирский химический комбинат», Россия

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

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

Секретарь оргкомитета: Сукоотнова В.В.

Члены организационного комитета

Шаманин И.В., д.ф.-м.н., профессор, руководитель ОЕН ШБИП, зав. НЛ ИАТ ИЯТШ,

Орлов А.А., д.т.н., профессор ОЯТЦ ИЯТШ

Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор ОЯТЦ ИЯТШ

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

Бутов В.Г., д.ф.-м.н., профессор ОЯТЦ ИЯТШ

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

Видяев Д.Г., д.т.н., доцент ОЯТЦ ИЯТШ

Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент ОЯТЦ ИЯТШ

Тимченко С.Н., к.т.н., доцент ОЯТЦ ИЯТШ

Побережников А.Д., старший преподаватель ОЯТЦ ИЯТШ

Новоселов И.Ю., ассистент ОЯТЦ ИЯТШ

Ушаков И.А., инженер НЛ ИАТ ИЯТШ

Малюгин Р. В., к.ф.-м.н., ассистент ОЯТЦ ИЯТШ

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарное заседание

КАЗАРЯН М.А.	
Перспективы использования лазеров в технологиях получения изотопов медико-биологического назначения.....	8
LI HONGDA	
Элементное и изотопное обогащение растворов в решении задач экологической безопасности.....	9
УГЛОВ В.В.	
Получение и использование мощных импульсных пучков ионов изотопов водорода.....	10
КЕНЖИН Е.А.	
Наработка радиоизотопов в исследовательских ядерных реакторах с низкообогащенным ураном.....	11
ВУРИМ А.Д.	
Изотопный анализ и радиационные характеристики кориума.....	12
ДУЙСЕБАЕВ Б.О.	
Изотопный анализ состава минерального урансодержащего сырья....	13
СКОРЫНИН Г.М.	
Современные области применения изотопной продукции.....	25

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОТОПОВ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Казарян М.А.

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН

E-mail: kazar@sci.lebedev.ru

Сегодня радионуклидные методы исследования и лечения широко применяются в научной и практической медицине.

В основном ядерная медицина призвана решать проблемы лечения онкологических заболеваний. Ядерная медицина выполняет такие задачи, как выявление опухолей, метастазов и рецидивов, определение степени распространенности опухолевого процесса, дифференциальная диагностика заболеваний, а также лечение злокачественных новообразований и оценка эффективности противоопухолевой терапии. Методы диагностирования, применяемые в ядерной медицине, высокоэффективны при меломане, лимфоме, раке легких, опухолях головы и шеи, раке пищевода, желудка, поджелудочной железы, яичников, шейки матки, молочной железы, предстательной железы. Кроме того в кардиологии и неврологии, также активно применяются современные ядерные технологии. Например, ядерная медицина позволяет производить оценки функционирования правой и левой желудков, визуализации кровоснабжения сердечной мышцы, выявления очага эпилепсии, визуализации последствий черепно-мозговой травмы и т.д. По данным МАГАТЭ, ежегодно спрос на услуги ядерной медицины в мире растет на 10-22% в год.

Возрастающая потребность в изотопах привели к созданию и промышленному освоению множества способов разделения изотопов: газодиффузионного, центробежного, физико-химических, электромагнитного, оптического, лазерного и др. Каждый из них хорошо зарекомендовал себя для разделения своего определенного класса соединений или элементов, находящихся в различных состояниях (газы, атомные и ионные пучки, жидкости, твердое тело, плазма) и имеющих различную структуру (атомы и ионы, двухатомные и многоатомные молекулы, комплексные соединения, кластеры) [1]. Однако, несмотря на затраченные огромные материальные и интеллектуальные ресурсы, состояние работ в области разделения изотопов в настоящее время трудно признать удовлетворительным. Почти все методы разделения, используемые в промышленности, обладают очень низкой селективностью, что вынуждает для получения нужного изотопического качества продукта использовать многостадийные процессы. Как результат, изотопическая продукция в подавляющем большинстве случаев получается слишком дорогой, а производственные комплексы громоздкими и требующими большого времени для переналадки с одного вида продукции на другой. Оптические, в том числе и лазерные, методы выгодно отличаются от других (кроме электромагнитного) высокой селективностью процесса (до 10³) и потенциально являются наиболее недорогими для производства многих продуктов. Достигнутый в последние годы прогресс в лазерной физике, методах перестройки, контроля и стабилизации частоты лазерного излучения превратил лазерные источники из научных и лабораторных приборов в промышленные устройства. Это значительно упростило использование методов лазерного разделения изотопов и открыло новые возможности для получения как изотопически, так и химически чистых веществ. Развитие оптических методов разделения привели к тому, что даже на небольших опытных установках производимая изотопическая продукция может быть значительно дешевле, чем полученная другими методами

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изотопы: свойства, получение применение. / Под ред. В.Ю. Баранова. – М., ИздАТ, 2000. – 704 с.

ЭЛЕМЕНТНОЕ И ИЗОТОПНОЕ ОБОГАЩЕНИЕ РАСТВОРОВ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Li Hongda

Shenyang Ligong University

E-mail: 308544490@qq.com

Вода составляет основу крови, цитоплазмы и межклеточной жидкости. Во всех этих жидкостях в различных концентрациях присутствуют неорганические вещества, белки, сахара и клеточные образования, которые гидратированы и имеют соответствующие гидратные оболочки. Кровь можно рассматривать как гетерогенную многокомпонентную систему, содержащую эритроциты, лейкоциты, тромбоциты, которые находятся во взвешенном состоянии в коллоидном растворе электролитов, белков и липидов. Практически все компоненты крови гидратированы и их вращательная подвижность играет важную роль в биоэнергетике организма. Вращательная подвижность управляется внешним асимметричным электрическим полем небольшой напряженности, что позволяет использовать поле для селективного воздействия на те, или иные компоненты крови, цитоплазмы или межклеточной жидкости, усиливая или подавляя подвижность определенных компонентов. Эффект селективного дрейфа сольватированных ионов также может быть использован в технологиях очистки крови от вредных соединений, каждое из которых характеризуется определенным значением частоты перехода вращательной в поступательную компоненту движения.

Если рассматривать раствор рацемата в приближении существования в его объеме самосогласованного электрического поля, то в нем имеется 3 носителя поляризованного заряда, индуцированного внешним электрическим полем – молекулы сольвента и сольватированные молекулы энантиомеров. Действие внешнего асимметричного электрического поля на раствор рацемата приведет к возбуждению вращательно-поступательного движения сольватированных молекул энантиомеров, а отличия параметров дрейфа каждого из энантиомеров приведут к их разделению в пространстве и обеспечат возможность их селективного извлечения из раствора. Таким образом, эффект селективного дрейфа может быть использован в синтезе биологически активных веществ или для управляемого изменения свойств их растворов.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗОТОПНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Углов В.В.

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: Uglov@bsu.by

Создание новых материалов с использованием изотопной продукции является важным этапом в развитии методов повышения надежности и долговечности механизмов и машин. Незначительное изменение изотопного состава или добавление небольшого количества изотопной продукции в материал изменяет его свойства. Так, например, за счет изменения изотопного состава кремния можно значительно повысить его теплопроводность [1], чего невозможно добиться классическим легированием материалов. Изменение изотопного состава кремния может позволить создать квантовые компьютеры [2]. При изотопной модификации водного раствора гидрида лития его можно успешно использовать в качестве замедлителя и нейтронной защиты, при этом улучшаются термодинамические и переносные свойства [3].

Перспективны также технологии по нанесению различного типа и назначения изотопно-модифицированных поверхностей, а также модификации поверхностных слоев путем термического воздействия, например, при производстве изотопно-модифицированной электроники [4]

Рассмотрены результаты экспериментальных и теоретических исследований закономерностей формирования структуры и свойств материалов, подвергнутых различным видам модификации, в том числе и изотопной модификации. Обсуждаются физические основы технологии создания некоторых перспективных конструкционных и функциональных металлических материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инюшкин А.В. Обогащая кристаллы изотопами, повышаем их теплопроводность. ПРИРОДА № 12, 2013, с 61.
2. Koplak O, Morgunov R and etc. Magnetic isotope and magnetic field effects on the silicon oxidation, Chemical Physics Letters 2013, 560, 29-31.
3. Якимович К.А., Мозговой А.Г. Изотопные модификации гидрида лития и их растворы с литием. Теплофизические и физико-химические свойства. - М.: ФИЗМАТЛИТ 2006. 280с.
4. Журавлева Л. М., Никулина Ю. А., Лебедева А. К. Перспективы графеновой наноэлектроники. МИР ТРАНСПОРТА, том 14, No 1, С. 72–78 (2016).

НАРАБОТКА РАДИОИЗОТОПОВ В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ С НИЗКООБОГАЩЁННЫМ УРАНОМ

Кенжин Е.А.

Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы

E-mail: kenzhin61@mail.ru

В настоящее время радионуклиды находят применение в различных областях, например, медицина, биология, сельское хозяйство и область их использования непрерывно расширяется. Областью массового использования радионуклидов является ядерная медицина [1]. На ее нужды расходуется более 50 % годового производства радионуклидов во всем мире. Для их снабжения требуется непрерывные поставки радиоактивных изотопов.

Одним из способов получения радиоактивных изотопов является облучение мишени, изготовленной из стабильных изотопов потоком тепловых нейтронов не ниже 10^{13} н·см⁻²·с⁻¹ в реакторных установках с низкообогащённым ураном. С таким способом радиоактивные изотопы нарабатываются с избытком нейтронов. Облучение нейтронами происходит по следующей ядерной реакции захвата нейтронов (n,γ). Примерами являются ядерные реакции типа: $^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$, $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$, $^{124}\text{Xe}(n,\gamma)^{125}\text{Xe}$ и др [2]. Некоторые изотопы получают по реакции вынужденного деления тяжёлых ядер (уран, плутоний, торий) под действием не нейтронов (реакция n,f). Такими элементами являются долгоживущие (например, ^{99}Mo , ^{131}I , ^{133}Xe) или короткоживущие (например, ^{137}Cs , ^{147}Pm , ^{90}Sr) продукты деления. Серьёзной проблемой, осложняющей процесс получения радиоактивных изотопов в реакторах, является наработка сопутствующих радиоактивных отходов. Поэтому для массового обеспечения радиоизотопной продукции для нужд различных областей целесообразно получать радиоактивные изотопы на энергетических реакторах.

Конкурирующим способом получения радиоактивных изотопов является способ с применением ускорителей. Данный способ занимает порядка 2/3 от производства на реакторах и неуклонно расширяется [3].

В работе рассмотрены основные проблемы наработки радиоактивных изотопов в ядерном реакторе с последующим их разделением и очисткой. Рассматриваются перспективы использования радиоактивной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фам Уиен Тхи. Методы получения радионуклидов. VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине».
2. Жуйков Б. Л. Успехи и проблемы получения медицинских радиоизотопов в России. УФН 186 544–549 (2016).
3. Моходоева О. Б., Мясоедова Г. В., Захарченко Е. А. Твердофазные экстрагенты для концентрирования и разделения радионуклидов. Новые возможности. Радиохимия, 2011, т. 53, N 1, с. 34–41.

ИЗОТОПНЫЙ АНАЛИЗ И РАДИАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРИУМА

Вурим А.Д.

Институт атомной энергии, Курчатов

E-mail: Vurim@nnc.kz

Обеспечение безопасности АЭС по мере развития ядерной энергетики во все большей степени базируется на фундаментальных принципах защиты. Но при проектировании невозможно обеспечить полную безопасность объекта, включая системы безопасности, авария может произойти в результате технических отказов или ошибок персонала [1]. Главной задачей при аварии на АЭС является не допустить повреждение активной зоны с последующим ее плавлением, или в худшем случае локализовать и заохладить кориум, содержащий основное количество долгоживущих продуктов деления, надежно изолировав его в пределах герметичной оболочки реакторного здания. Важным этапом является то, что необходимо проводить изотопный анализ кориума и регистрировать его радиационные характеристики [2].

В работе приводятся методы, которыми возможен изотопный анализ кориума. Приведены также экспериментальные данные атомно-абсорбционного, ренгенофлуоресцентного и масс-спектрометрического анализа образцы материалов натурального и прототипных кориумов быстрого энергетического реактора, полученного в эксперименте «FD» на реакторе ИГР, и образцы материала прототипных кориумов полученных в серии экспериментов «TaC» на стенде высокотемпературных испытаний ВЧГ-135. Обсуждаются проблемы измерения кориума, например одной из таких проблем является анализ кориума на содержание урана и циркония, вследствие низкой чувствительности и многочисленных влияний. Одним из решения этой проблемы является использование ренгенофлуоресцентного анализа который позволяет избежать трудностей при атомно-абсорбционном определении урана и циркония. Также в работе проводится обсуждение о эффективности и области применения каждого метода при анализе кориума

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горев И.А., Степанова С.В., Шматко Г.Р. атомно-абсорбционный и ренгенофлуоресцентный анализ продуктов взаимодействия кориума с конструкционными материалами. Тезисы докладов. Сосновый Бор:ГПНИТИ им.А.П. Александрова, 2001г.
2. Скаков М.К., Дерявко И.И., Мухамедов Н.Е., Кукушкин И.М. Влияние термоциклирования на теплофизические свойства кориума быстрого энергетического реактора. Вестник НЯЦ РК №3, сентябрь 2017, с 31-35.

УРАНОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Дуйсебаев Б.О.

АО «НАК КАЗАТОМПРОМ»

E-mail: ines@inesnet.ru; pr@kazatomprom.kz

Мировая атомная энергетика в целом восстановилась от аварии на АЭС Фукусима. Большинство стран с развитой атомной энергетикой уверены в ее будущем, с учетом применения новейших технологий в реакторостроении и эксплуатации АЭС, предъявляющих жесткие требования к безопасности атомных реакторов. Вместе с тем, ее последствия продолжают «лихорадить» урановый рынок.

Все ведущие мировые аналитики в области уранового рынка прогнозируют устойчиво растущий спрос на уран в долгосрочной перспективе. Так согласно базовому сценарию развития мировой атомной энергетике ряда аналитических компаний, опубликованном в 2017 году, реакторные потребности в уране к 2030 г. возрастут с текущих 73 до 86- 88 тыс.т в год. За этот период времени обеспечение из вторичных снизится более чем в три раза, а основной рост должен быть обеспечен первичной добычей природного урана, который не имеет альтернативы на этом горизонте. Его добыча к 2030 году должна увеличиться с нынешних 62 до 80 тыс.т к 2030 году, то есть почти на 30 %. Причем добыча урана на действующих рудниках сократится на 20 %, а планируемые новые рудники смогут лишь компенсировать выбывающие мощности. С 2024 года спрос на уран начнет превышать предложение и дефицит составит более 18 тыс.т к 2030 году, а при агрессивном сценарии развития атомной энергетике достигнет 48 тыс.т.

Основным способом добычи урана с 2010 года стало скважинное подземное выщелачивание, ранее считавшееся нетрадиционным способом. Его доля выросла с 20% в 2005 г до 50% в 2015. Парадоксальный рост добычи урана на фоне низких цен объясняется, тем, что выживают только крупные компании с высококачественными месторождениями или с приемлемыми долгосрочными контрактами.

Казахстан занимает второе место в мире по разведанным запасам природного урана. Около 12 % от всех разведанных мировых запасов сосредоточено в недрах Республики Казахстан. Общие разведанные запасы страны оцениваются более 900 тыс. тонн урана. В 2009 году Казахстан вышел на первое место по добыче урана в мире и продолжает сохранять лидирующие позиции на мировом рынке природного урана, не смотря на неблагоприятную ценовую конъюнктуру рынка. Казахстан производит почти 40 % от мировой добычи урана.

Основные добывающие предприятия атомной отрасли расположены в Кызылординской и Южно-Казахстанской областях, в которых расположены основные разведанные запасы и ураново-рудные провинции Казахстана. Объем добычи урана по предприятиям группы компаний АО «НАК «Казатомпром» за 2017 год составил 24 500 тонн урана, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года объем добычи урана увеличился на 5,7 %.. На 2018 год запланировано плановое снижение добычи это связано с конъюнктурой рынка.

Секция 1. СЕЛЕКЦИЯ ВЕЩЕСТВ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИМИ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ. ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УШАКОВ А.А., СОВАЧ В.П., ОРЛОВ А.А. Изменение внешних потоков разделительного каскада для сокращения продолжительности переходного процесса.....	23
БЕСПАЛА Е.В., ЧУБРЕЕВ Д.О., БЕСПАЛА Ю.Р. Моделирование процесса обработки облученного графита, содержащего продукты деления и активации, инертным газовым потоком.....	24
СКОРЫНИН Г.М., ОРЛОВ А.А. Современные области применения изотопной продукции.....	25
ГУСЕВ В.Е., ВОЛКОВ Ю.Н., СМИРНОВ А.Ю., НЕВИНИЦА В.А. Анализ защищенности регенерированного уранового топлива легководных реакторов с точки зрения осуществления гарантий МАГАТЭ.....	26
СМИРНОВ А.Ю., ГУСЕВ В.Е., СУЛАБЕРИДЗЕ Г.А., НЕВИНИЦА В.А. Способ обогащения регенерированного урана с различным исходным содержанием четных изотопов.....	27
VURIM A.D., KOTOV V.M., BAKLANOVA YU.YU., SURAYEV A.S., SULEIMENOV N.A. The heat exchanger design optimization for a direct flow irradiated beryllium purification plant.....	28
ЛЕОНТЬЕВА Д.А., МАЛЮГИН Р.В. Динамика заполнения емкостей различной геометрии с вертикальным оребрением десублимированным UF ₆	29
КОТЕЛЬНИКОВА А.А., МАЛЮГИН Р.В. Влияние режима тепло- и массообмена на динамику заполнения емкостей с гладкими внутренними стенками десублимированным UF ₆	30
МУСТАФИН А.Р., СМИРНОВ А.Ю., СУЛАБЕРИДЗЕ Г.А. Целевые функции при оптимизации разделительных каскадов.....	31
ХОРОХОРИН Д.М., ЕРЕМЕЕВ Р.С., БАЛАЧКОВ М.М. Разработка системы автоматического контроля α-активных радионуклидов на поверхности.....	32
КАРТАВЫХ А.А., КРАЙНОВ А.Ю. Низкотемпературное охлаждение емкостей для десублимации компонентов газовой смеси.....	33

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

ГРИГОРЬЕВ А.С., ЧУБРЕЕВ Д.О. Имобилизация РАО в матрицах из глинистых материалов.....	35
МЮСОВА А.Е., ЛУЦЕНКО Ю.Ю. Особенности процесса горения высокочастотного факельного разряда в восстановительных средах.....	36
VASSILYEVA Y.Z. Synthesis of carbon nanotubes by electric discharge plasma.....	37
ЛУКИН А.В., ЛЕОНТЬЕВА Д.А., ЕРЕМЕЕВ Р.С. Фотохимические процессы, протекающие в магнитном поле, при фотолизе жидкого ацетона.....	38
ГАМОВ Д.Л., ГРИГОРЬЕВ А.С., ХОРОХОРИН Д. М. Формирование и рост дисперсных частиц в плазме, находящейся в магнитном поле.....	39
ГАМОВ Д.Л., ЛЕОНТЬЕВА Д.А., ЕРЕМЕЕВ Р.С. Формирование наночастиц в магнитном поле.....	40
МИКЛАШЕВИЧ Л.А., ГАМОВ Д.Л., ХОРОХОРИН Д.М. Лазерная диагностика дисперсных частиц, формирующихся в постоянном магнитном поле.....	41
ЗАГУЗИН И.Ю., ЛЮТИКОВ О.Н. Структура пленок, напыляемых в магнитном поле путем магетронного распыления.....	42
LI HONGDA, СОСНОВСКИЙ С.А., АБДИЯНОВ А. Разделение химических элементов с использованием электрохимических процессов на асимметричном переменном токе в условиях резонансных взаимодействий.....	43
КАРЕЛИН В.А., АЗАНОВ А.А. Определение состава веществ физико-химическими методами анализа.....	44

**Секция 3. ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В ЯДЕРНО-
ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ**

BEDENKO S.V., KNYSHEV V.V., GHAL-EN N. Radiation characteristics of fuel of the iv generation nuclear innovation system.....	46
АРЖАННИКОВ А.В., ШАМАНИН И.В., КНЫШЕВ В.В. Эволюция элементного состава топлива в длительном рабочем	

цикле тепловыделяющей сборки с гелиевым теплоносителем при различном исходном соотношении тория и плутония.....	47
КУЗЕРО В.Б., НОВОСЕЛОВ И.Ю.	
Плазменная технология как альтернатива традиционным методам переработки отработавшего ядерного топлива.....	48
САБИТОВА Р.Р., БЕДЕНКО С.В., ЗОРЬКИН А.И.	
Моделирование НРГЕ-детектора методами Монте-Карло.....	49
ЗОРЬКИН А.И., КУЗНЕЦОВА М.Е., УКРАИНЕЦ О.А.	
Оценка эффективности керамического дисперсионного топлива в реакторной установке поколения при длительной эксплуатации.....	50
МЮСОВА А.Е. ЛУЦЕНКО Ю.Ю.	
Температурные характеристики высокочастотного факельного разряда, горящего в смеси атомарного и молекулярного газа.....	51
МЮСОВА А.Е., ЛУЦЕНКО Ю.Ю.	
Определение характеристик факельного разряда, используемого в процессах плазменной переработки веществ.....	52
ЗУБОВ В.В.	
Моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «UO ₂ -BeO» из водно-органических нитратных растворов	53
ГОЛОВКОВ, Н.И., АЛЮКОВ Е.С.	
Анализ оксидных порошков, полученных в низкотемпературной плазме из водных нитратных растворов с добавлением органического компонента	54
АЛЮКОВ Е.С., НОВОСЕЛОВ И.Ю.	
Моделирование синтеза в низкотемпературной плазме сложных оксидных композиций для перспективных типов ядерного топлива.....	55
ШЕХОВЦОВ В.В.	
Моделирование поведения неметаллических тугоплавких оксидов в потоке термической плазмы.....	56
КОСМАЧЕВ П.В.	
Плазменно-дуговая технология получения нанопорошков.....	57
СОСНОВСКИЙ С.А., ТЮРИН С.В., ГОЛОВКОВ Н.И.	
Исследование процесса вскрытия руд при воздействии высоковольтного искрового импульсного разряда.....	58
БАБАЕВ Р.Г.	
Плазмохимический синтез оксидных композиций «UO ₂ -MgO» для дисперсионного ядерного топлива.....	59
КАРЕНГИН А. А., КАРЕНГИН А. Г.	
Моделирование кинетики процесса плазмохимического	

синтеза сложных оксидных композиций для дисперсионного ядерного топлива из диспергированных водно-органических нитратных растворов	60
ТУНДЕШЕВ Н. В. Реконверсия обедненного гексафторида урана до диоксида в воздушно-метановой плазме.....	61
ИВАНОВ К.С., НОВОСЕЛОВ И.Ю. Моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «PuO ₂ -ThO ₂ -BeO».....	62
ТИХОНОВ А.Е., БАБАЕВ Р.Г. Моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «PuO ₂ -ThO ₂ -MgO».....	63
ГОЛОВКОВ Н.И., АЛЮКОВ Е.С. Моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «PuO ₂ -UO ₂ -BeO».....	64
КАЙДАРОВ А.Е., КАРЕНГИН А.А. Плазмохимический синтез оксидных композиций из отходов после подготовки воды из подземных источников.....	65
ШЕСТАКОВА Л.А. Плазменная иммобилизация иловых отложений бассейнов-хранилищ ЖРО.....	66
ЗОТОВ Е.А., КАРЕНГИН А.А. Плазмохимический синтез сложных оксидных композиций «UO ₂ -ThO ₂ -MgO».....	67
КУРКИН П.А., КАРЕНГИН А.А. Моделирование и оптимизация процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «UO ₂ -ThO ₂ -BeO» из водно-органических нитратных растворов.....	68
РАСТОРГУЕВ В.И. ПОБЕРЕЖНИКОВ А.Д. Моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «PuO ₂ -UO ₂ -MgO».....	69
БАБАЕВ Р.Г., КАРЕНГИН А.А., ПОБЕРЕЖНИКОВ А.Д. модель реактора для плазменной переработки диспергированных водно-органических нитратных растворов.....	70
АНДРЕЕВ Д.В., ЗУБОВ В.В., КАРЕНГИН А.А. Плазменный модуль на базе ВЧФ-плазмотрона для плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций.....	71
ЛИ В.И., САГАЛАКОВА К.А. Исследование процесса плазменной переработки реэкстрактов платиноидов из ОЯТ.....	72

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

ЛЕОНОВ А.В., ЧУБРЕЕВ Д.О., БЕСПАЛА Е.В., БЕСПАЛА Ю.Р. О возможности использования электроосмотического эффекта для восстановления барьеров безопасности в пункте захоронения радиоактивных отходов.....	74
КОЛЕСНИКОВ Е.В. Оптимизация процесса наработки СО-60 на ИРТ-Т.....	75
САДКИН В.Л. Нанесение радиоактивной метки технеция-99М на магнитоуправляемые нанокolloиды Fe@C (IDA).....	76
СЮЙ ШУПЭН, ЛАРИОНОВ В.В. Поведение водорода в титане при его облучении нейтронами.....	77
BELJAEVA I.V., YAKOVLEV G.A., YAKOVLEVA V.S. Determination of snow water equivalent by the atmospheric beta-background.....	78
ZELINSKII A.S., YAKOVLEVA V.S. Dependence of cosmic ray component in background of atmosphere surface from solar magnetic activity.....	79
CHEREPNEV M.S., YAKOVLEV G.A., YAKOVLEVA V.S. The difficulties of detector calibration used for monitoring soil radon-222.....	80
YAKOVLEV G.A., NGUEN T.H., YAKOVLEVA V.S. Radon isotopes as an indicators of dynamic atmospheric processes.....	81
ЕМЕЦ Е.Г., ВАРЛАЧЕВ В.А., ЗУКАУ В.В., КАБАНОВ Д.В., МАСЛЕННИКОВ Ю.С., ЧИБИСОВ Е.В. Оценка целесообразности установки нового канала для получения фосфора.....	82
ЗУКАУ В.В., КАБАНОВ Д.В., МАСЛЕННИКОВ Ю.С., ЧИБИСОВ Е.В. Факторы, влияющие на термосублимационную очистку фосфора-32, наработанного по ядерной реакции $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$	83
ЗУКАУ В.В., ДОНЯЕВА Е.С., ЧИКОВА И.В. Оценка эффективности биологической защиты медицинского линейного ускорителя применяемого для терапии злокачественных опухолей.....	84
PUSTOVALOV K.N., YAKOVLEV G.A., BELYAEVA I.V., YAKOVLEVA V.S. Estimation of rain intensity by radiation markers.....	85
BEZDENEZHNYKH I.V., BRYANSKIY K.S. Radiation control of wastewater during radiological research in vivo based on Tc - 99m	86

KOKOV K. V., CHUVILIN D. YU., EGOROVA B. V. Synthesis and investigation of a preparation based on ^{212}Pb -labeled dotatate synthetic peptide for therapy of neuroendocrine tumors.....	87
МАСЛЕННИКОВ Ю.С., УШАКОВ И.А., АБДИЯНОВ А. Определение содержания Sr и Mg в водных растворах получаемых в процессе разделения методом электроиндуцированного дрейфа.....	88
УШАКОВ И.А., ГОЛОВКОВ Н.И., БОЛГОВ С.Ю. Разделение Sr и Mg методом электроиндуцированного дрейфа.....	89
МАСЛЕННИКОВ Ю.С., УШАКОВ И.А., ТИМЧЕНКО С.Н., ГОЛОВКОВ Н.И. Разделение Ba и Sr методом электроиндуцированного дрейфа.....	90
УШАКОВ И.А., БУТОВ В.Г., ТИМЧЕНКО С.Н. Математическое моделирование дрейфа диполя под действием внешнего периодического электрического поля.....	91
ПЛАСТУН С.А., ЧЕРЕПНЕВ М.С., ЕРУНЦОВ В.В. Разработка установки для получения раствора радона в воде и органической жидкости.....	92
СТАВИЦКАЯ К.О., РЫЖАКОВА Н.К., УДАЛОВ А.А. Изучение влияния типа пород на выход радона с их поверхности.....	93
ВЕРХОРУБОВ Д.Л., ВИДЯЕВ Д.Г., КОЗЛОВ С.Е., ШРЕДЕР А.С. Анализ параметров работы установки для разделения изотопов водорода.....	94
АКИМОВ В.Н., БОРЕЦКИЙ Е.А., ВИДЯЕВ Д.Г., САВОСТИКОВ Д.В. Подготовка пресс-порошков при фабрикации углеродных материалов в таблетки.....	95
БОРЕЦКИЙ Е.А., ДМИТРИЕВ В. В., ЦВЕТКОВ А.Д. Получение пластификатора для таблетирования технического углерода.....	96
СМОЛЬНИКОВ Н.В., ЛЕБЕДЕВ И.И., АНИКИН М.Н. Исследование влияния высокотеплопроводящих сплавов на равномерность распределения легирующей примеси при нейтронно-трансмутационном легировании кремния в вертикальном экспериментальном канале реактора ИРТ-Т.....	97
БЕЛЯЕВ В.В. Процесс наработки SM-153 на реакторе ИРТ-Т и его оптимизация	98
АЛЬМЯКОВ П.Э., ЧЕРЕПНЕВ М.С. Содержание Ra-226 в породах разного типа.....	99

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

ГУСЕВА Д.В.

Получение коллоидного гептасульфида рения для
радиоизотопной диагностики.....101

КАРЕЛИН В.А., МАЛЫШЕВ М.С., ГУБСКАЯ М.Л., КАРЕЛИНА Н.В.

Влияние плотности смеси порошков диоксидов урана и плутония
на плотность гранулята в технологии производства мох-топлива.....103

КАРЕЛИН В.А., ТИХОНОВ М.А., ШУТОВА С.К., КАРЕЛИНА Н.В.

Применение ИПХТ для иммобилизации ВАО после
экстракционной переработки ОЯТ.....104

МЕРКЕЛЬ К.И., ГРЕЧЕНОК Е.Ю., СТРАШКО А.Н.

Изучение параметров разложения отходов с содержанием
редкоземельных металлов.....105

ИСАЕВА Е.А., ЗАЙЦЕВА А.С.

Исследование получения стабильных изотопов селена
при химической переработке изотопно-обогащенного
гексафторида селена.....107

БАЛАШКОВ В.С., ВЕРГУН А.П., БЕЛЯКОВ Д.М.

Исследования по разделению изотопов в условиях
совмещения электроионитных и обменных процессов.....108

БАЛАШКОВ В.С., ВЕРГУН А.П., БЕЛЯКОВ Д.М.

Направленный поиск, моделирование электрохроматографических
и обменных процессов изотопного разделения.....109

БАКЛАНОВА Ю.Ю., СИТНИКОВ А.А., ВУРИМ А.Д.

Технология очистки облученного бериллия от радионуклидов
третия и кобальта-60.....110

ГРИГОРЬЕВ М.И., БАЛАШКОВ В.С., ВЕРГУНА.П.

Оптимизация процессов изотопных разделений при
противоточной электромиграции в системе ионит-раствор.....111

БЕЖИН Н.А., ДОВГИЙ И.И., ТОВАРЧИЙ Я.Ю.

Сорбенты импрегнированного типа для селективного извлечение Pb^{2+} 112

ДОВГИЙ И.И., КРЕМЕНЧУЦКИЙ Д.А, ШИБЕЦКАЯ Ю.Г.

Распределение ^{137}CS в поверхностном слое черного моря.....113

ВЕШКИН И.А., КОПЦЕВ М.О., СЕВЕРИН А.В.

Измерение протонной проводимости полимерной
модифицированной мембраны ETFE.....114

КОПЦЕВ М.О., ВЕШКИН И.А. СЕВЕРИН А.В.

Разделение ионов металлов трековыми
высокоселективными мембранами.....115

БАСС В.И., КАРЕНГИН А.А. Магнитная сепарация водных суспензий после плазменной переработки отходов водоподготовки.....	116
ДОРОФЕЕВА Л.И., МИХАЙЛОВ А.Г. Электрорегенерация отработанных технологических растворов.....	117
ПШЕНИЧНИКОВ А.С., ДОРОФЕЕВА Л.И. Исследование процесса иммобилизации жидких радиоактивных отходов.....	118

Секция 1

**СЕЛЕКЦИЯ ВЕЩЕСТВ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИМИ И
АЭРОДИНАМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ. ВОПРОСЫ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ
РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

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

ИЗМЕНЕНИЕ ВНЕШНИХ ПОТОКОВ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Ушаков А.А., Совач В.П., Орлов А.А.

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

АО «ПО «Электрохимический завод»,

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

E-mail: ushakovaa2015@sibmail.com

В последнее время широкое применение в ядерной энергетике, медицине и фундаментальных исследованиях нашли изотопно-модифицированные материалы, в которых содержание изотопов химических элементов отличается от природного. Изменение состава изотопной смеси происходит в процессе ее разделения каким либо методом. В последние десятилетия интерес исследователей прикован к разделению многокомпонентных изотопных смесей (МИС) в каскадах газовых центрифуг (ГЦ).

Стационарному режиму разделения МИС в каскаде ГЦ предшествует нестационарный процесс, который условно можно разделить на две стадии: 1 – заполнение каскада рабочим веществом, 2 – переходный процесс, в течение которого устанавливаются стационарные значения концентраций компонентов изотопной смеси в ступенях и потоках каскада. Особый интерес представляет изучение переходного процесса в виду его значительной длительности и, как следствие, существенного негативного влияния на эффективность работы каскада ГЦ. Переходный процесс является нестационарным гидравлическим и разделительным процессом, в течение которого изменяются величины потоков и давлений рабочего вещества и концентраций компонентов.

В данной работе приведены результаты исследований по определению влияния величин внешних потоков каскада на продолжительность переходного процесса с использованием математической модели [1]. Исследования проведены для случая разделения изотопов германия, которые используются при создании полупроводниковых материалов, изучении безнейтринного двойного β -распада.

Показано влияние величин потоков питания и легкой фракции каскада на время достижения требуемого значения концентрации ^{72}Ge . Установлено, что продолжительность переходного процесса сокращается примерно в 4 раза при увеличении потока питания на 20 % и максимальном значении потока легкой фракции. В случае получения изотопа с промежуточным массовым числом переходный процесс может быть представлен как перенос изотопа в направлении ступени отбора легкой или тяжелой фракции, сопровождающийся накоплением или выведением избыточного количества этого изотопа из каскада при увеличении или уменьшении его максимальной концентрации в каскаде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orlov A.A., Ushakov A.A., Sovach V.P., Mymrina D.F. Modeling of nonstationary processes during separation of multicomponent isotope mixtures. *Separation Science and Technology*. 2018. Vol 53, № 5, 796-806.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ОБЛУЧЕННОГО ГРАФИТА, СОДЕРЖАЩЕГО ПРОДУКТЫ ДЕЛЕНИЯ И АКТИВАЦИИ, ИНЕРТНЫМ ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ

Беспала Е.В.¹, Чубреев Д.О.¹, Беспала Ю.Р.¹

¹ФГУП «Горно-химический комбинат», 662972, Россия, г. Железногорск, ул. Ленина, д. 53
E-mail: bespala_evgeny@mail.ru

За время существования атомной энергетики в России и за рубежом накоплено порядка 250 000 тонн графитовых радиоактивных отходов (РАО). В настоящее время проблема обращения с облученным ядерным графитом частично решена для случая отнесения его к особым РАО и вывода реактора из эксплуатации путем создания пункта долговременной консервации особых РАО. Однако эта технология ограничена в тиражировании и применима только для промышленных реакторов, что не позволяет полностью решить проблему графита.

Сложности в решении проблемы обращения с графитовыми РАО связаны с наличием в нем различных высокоактивных радионуклидов. Основными неуглеродными загрязнителями, вносящими наибольший вклад в суммарную удельную активность, являются ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr.

В статьях [1,2] была показана эффективность использования термических методов обработки графита в инертной среде, что обусловлено возможностью селективного удаления ¹³⁷Cs, находящегося на поверхности. Однако в работе не рассматривалось комплексное загрязнение пористого образца облученного графита продуктами деления и активации и не учитывались особенности протекания физико-химических процессов при выделении запасенной энергии (энергии Вигнера). Поэтому целью настоящей работы является моделирование процессов теплопереноса при воздействии высокотемпературного потока на поверхность образца графита, содержащего продукты деления и активации.

С целью уменьшения удельной активности облученного ядерного графита, и, соответственно, снижения потенциальной опасности РАО, целесообразно проводить его термическую обработку в инертной среде. При взаимодействии высокотемпературного потока с поверхностью графита происходит её нагрев. При достижении температуры кипения радиоактивных загрязнителей происходит их плавление и дальнейшее испарение, либо сублимация при определенных термодинамических условиях. Данный процесс описывается нестационарным уравнением теплопроводности с учётом выделения запасенной энергии в виде дополнительного слагаемого в уравнении теплового баланса. При этом величина теплового эффекта определяется из аппроксимации экспериментальных данных по отжигу дефектов при различных температурах. Это позволяет дополнить уже известные математические модели, описывающие процесс переработки облученного реакторного графита.

В работе представлены результаты экспериментов по исследованию образцов облученного ядерного графита одного из уран-графитовых ядерных реакторов методом СЭМ анализа. Показано, что радиоактивные загрязнители находятся внутри пор. Исходя из этого, представлена математическая модель, описывающая процесс теплопередачи при обработке образца облученного ядерного графита инертным газовым потоком с учетом выделения энергии Вигнера. Эта модель использовалась для расчета скорости извлечения ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr с внешней поверхности поры графита при его термообработке. Показано, что выделение запасенной энергии влияет на скорость удаления ¹³⁷Cs, в меньшей степени – на ⁹⁰Sr.

Определено, что массовая скорость перехода ¹³⁷Cs в инертный газовый поток при температуре до 2300 °С изменяется в диапазоне $(5-40) \cdot 10^{-7}$ кг/(м²·с). Скорость удаления ⁹⁰Sr изменяется в диапазоне $(5-35) \cdot 10^{-8}$ кг/(м²·с), что на порядок ниже, чем для ¹³⁷Cs.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bepala E. Heat transfer during evaporation of cesium from graphite surface in an argon environment / E. Bepala, I. Novoselov, I. Ushakov // MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 72. – P.1–5. DOI: 10.1051/mateconf/20167201011.
2. Bepala E.V., Novoselov I.Yu., Pavlyuk A.O., Kotlyarevskiy S.G. Study of evaporating the irradiated graphite in equilibrium low-temperature plasma // Thermophysics and Aeromechanics. – 2018. – V. 25. – № 1. – P. 109–117. DOI: 10.1134/S0869864318010109.

СОВРЕМЕННЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОТОПНОЙ ПРОДУКЦИИ

Скорынин Г.М., Орлов А.А.

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

E-mail: ckorynin@gmail.com

В докладе предложена классификация известных к настоящему времени 4040 разновидностей атомов 118 химических элементов, приведена общая характеристика основных методов получения изотопов, отмечены возможности и преимущества центрифужной технологии, используемой для разделения стабильных изотопов. Применение изотопной продукции проиллюстрировано примерами из современных областей фундаментальной науки, ядерной медицины, атомной энергетики и промышленности. Рассмотрены перспективы развития изотопной инженерии, расширяющие современные области применения изотопов.

MODERN APPLICATION OF ISOTOPE PRODUCTS

Skorynin G.M., Orlov A.A.

Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenina Ave., 30

E-mail: ckorynin@gmail.com

The report proposes the classification of currently known 4040 species of atoms 118 chemical elements, provides a general description of the main methods for obtaining isotopes, noted the opportunities and advantages of centrifugal technology used to separate stable isotopes. The use of isotope products is illustrated by examples from the modern fields of fundamental science, nuclear medicine, nuclear energy and industry. Prospects for the development of isotope engineering are considered, which expand the current fields of application of isotopes.

АНАЛИЗ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО УРАНОВОГО ТОПЛИВА ЛЕГКОВОДНЫХ РЕАКТОРОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ГАРАНТИЙ МАГАТЭ

Гусев В.Е.¹, Волков Ю.Н.¹, Смирнов А.Ю.¹, Невиница В.А.²

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409, Россия, г. Москва, Каширское ш., 31

² Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», 123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, 1
E-mail: gusevvlad13@mail.ru

Ввиду специфики ядерной отрасли одним из важнейших условий устойчивого и безопасного развития мировой атомной энергетики является соблюдение принципов нераспространения ядерных материалов. В этом контексте критичным представляется вопрос о возможности скрытого переключения ядерного материала или системы в целом на реализацию незаявленной (оружейной) программы.

Одним из возможных шагов к повышению защищенности ядерно-энергетической системы от распространения может служить увеличение внутренней защищенности используемых ядерных материалов. Одним из практических способов для реализации этого направления является повышение защищенности низкообогащенного урана (НОУ), который широко применяется в качестве топлива реакторов на тепловых нейтронах. При этом сырьем для наработки такого ядерного материала может служить не только природный уран, но и выделенный из отработавшего ядерного топлива регенерированный уран.

В работе проанализирована защищенность обогащенного регенерированного урана по отношению к его возможному переключению. Описаны условия, при которых возможно скрытое несанкционированное использование данного материала для получения материала прямого использования, согласно классификации МАГАТЭ. Оценены требуемые масштабы разделительного производства для наработки значимого количества высокообогащенного урана за различные периоды времени: от трех месяцев до двух лет при фиксированном количестве исходного материала, переключенного из сборок со «свежим» ядерным топливом. Показано, что опираясь на специфику изотопного состава регенерированного урана, а именно, присутствие в нем искусственных изотопов урана, в первую очередь, изотопа ^{232}U , возможно реализовать процедуру обнаружения переключения меньших количеств НОУ, чем в случае использования для производства ядерного топлива чистого природного урана.

Исследование выполнено при поддержке программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (контракт № 02.a03.21.0005 от 27.08.2013 г.).

СПОСОБ ОБОГАЩЕНИЯ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО УРАНА С РАЗЛИЧНЫМ ИСХОДНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ

Смирнов А.Ю.¹, Гусев В.Е.¹, Сулаберидзе Г.А.¹, Невиница В.А.²

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409, Россия, г. Москва, Каширское ш., 31

² Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», 123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, 1

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

Основные пути повторного использования выделенного из отработавшего топлива регенерированного урана связаны с процессом его обогащения в каскадах газовых центрифуг. Однако этот процесс затруднен из-за присутствия в изотопном составе регенерата искусственных изотопов ^{232,236}U и повышенного по отношению к природной смеси содержания ²³⁴U. Данные факторы существенны ввиду необходимости выполнения условий радиационной безопасности при изготовлении твэлов и сохранения нейтронно-физических характеристик ядерного топлива. Это обстоятельство обуславливает необходимость модификации стандартной схемы обогащения урана в каскаде газовых центрифуг.

В работе предложена модификация двойного каскада газовых центрифуг, позволяющая получить продукт, удовлетворяющий ограничениям по всем четным изотопам урана, и одновременно расходующая на его производство заданное количество регенерата урана. Последнее необходимо для полного замыкания цикла по урану и корректного контроля за оборотом делящихся материалов при экспортных поставках топлива. С использованием теории каскадов для разделения изотопов был проиллюстрирован принцип действия предложенной схемы каскада для обогащения регенерированного урана, испытавшего несколько циклов облучения. Продемонстрировано соответствие всем заданным условиям и ограничениям в согласии с международными стандартами. Изучены закономерности изменения параметров данной схемы в зависимости от заданных внешних условий.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-00249).

THE HEAT EXCHANGER DESIGN OPTIMIZATION FOR A DIRECT FLOW IRRADIATED BERYLLIUM PURIFICATION PLANT

Vurim A.D.¹, Kotov V.M.¹, Baklanova Yu.Yu.¹, Surayev A.S.¹, Suleimenov N.A.²

¹Branch «Institute of Atomic Energy» RSE NNC RK

²EKSTU named after D. Serikbayev

Ust-Kamenogorsk city, A.K. Protozanov street, 69, 070004, RK

E-mail: sna@mail.ru

Beryllium has been widely used in nuclear power engineering. In this case, it refers to rare metals, since its content in the earth's crust is $\sim 5 \times 10^{-4}\%$. A small prevalence in nature, a complex technology of extraction from ore and obtaining products determine its high cost [1]. In the process of using beryllium in nuclear power, various radionuclides accumulate in it, which limit its reuse. According to this, the problem of purification of irradiated in a nuclear reactor beryllium from radionuclides is topical.

In the Branch of the IAE RSE NNC RK work on this direction have been conducted over the past few years [2, 3]. In the course of these works, a number of studies were carried out aimed at developing a technology for dry cleaning of irradiated beryllium by the chlorination method, developing options for the design of the installation, carrying out calculations and experimental work. The first variant of the installation was a cyclic chlorinator, constructed of steel pipes [4], which has certain advantages and disadvantages. One of the most important drawbacks of the design is the use of stainless steel, which is prone to corrosion in a chlorine environment. For this reason, the design of the plant was changed and converted to a direct flow chlorinator with a quartz reaction chamber [5].

In the scope of this work, a method for dry purification of irradiated beryllium by its interaction with gaseous chlorine is proposed, followed by the separation of the formed beryllium chloride from the radionuclide chlorides due to the difference in the temperatures of their phase transitions. The scheme of a direct flow installation with a quartz reaction chamber for the realization of such a process is considered, and the results of the calculated studies in support of the design are presented. The problem of transferring gaseous beryllium chloride to the liquid state is solved by cooling it in a heat exchanger. The variants of the design of heat exchangers ensuring the implementation of this process are considered, and thermal calculations are performed. The possibility of formation of solid beryllium chloride in the gas flow sections was also investigated. The results of the thermal calculations confirmed that the reduction in nitrogen flow rate and its recuperative heating before feeding to the main heat exchanger eliminated the formation of solid beryllium chloride in all sections.

The work was carried out with the financial support of the State Institution "Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan" under the Treaty No. 305 dated 30.03.2018 on «Improvement of Irradiated Beryllium Dry Purification Technique».

REFERENCES

- 1 Material Science. I.M. Zharskiy, N.P. Ivanova, D.V. Kuis, N.A. Svidnovich, - Minsk. "The Higher School", 2015.-557 pp.: Ill.
- 2 Technology of purification irradiated beryllium: the final technical report on the ISTC project K-1566 / Institute of Atomic Energy of the NNC RK; hands: V.M. Kotov. - Kurchatov, 2013.
- 3 Carrying out experiments to determine the degree of purification of beryllium chloride from radionuclides differing in the mode of operation of the chlorinator, the cobalt chloride filter, the beryllium chloride and tritium storage tanks: research work report on 02.13 STP / IAE Branch of the NNC RK; hands: V.M. Kotov [and others]. - Kurchatov, 2013.
- 4 Installation of chlorination of irradiated beryllium / V.M. Kotov, M.A. Bausadikov // Conference of the Nuclear Society of the Republic of Kazakhstan .- Almaty, 2012.
- 5 Installation with straight flow chlorinator: assembly drawing: AK.21262.00.000CB / Branch of IAE RSE NNC RK; ut. V.V. Yakovlev .- Kurchatov, 2014.

ДИНАМИКА ЗАПОЛНЕНИЯ ЕМКостей РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ ДЕСУБЛИМИРОВАННЫМ UF₆

Леонтьева Д.А., Малугин Р.В.

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

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

E-mail: malyugin@tpu.ru

Данная работа посвящена исследованию влияния геометрии емкостей с вертикальным оребрением различного объема на динамику их заполнения десублимированным UF₆. Задачей исследования являлось определение возможности увеличения производительности емкостей при изменении отношения их высоты к радиусу и сохранении постоянной площади теплообменной поверхности вертикальных ребер. Расчеты заполнения емкостей проводились с использованием упрощенной трехмерной математической модели нестационарного процесса десублимации UF₆ [1]. Для емкостей было введено ограничение по максимальной высоте 3,0 м, т.к. высота железнодорожных вагонов для их перевозки ограничена, и минимальному радиусу 0,15 м для обеспечения возможности размещения на верхней крышке двух патрубков с клапанами (входного и отсосного). При этом не рассматривался вопрос устойчивости емкостей при их транспортировке.

Проведены расчеты динамики заполнения емкостей объемом 1,0; 2,0; 2,5; 3,0 и 4,0 м³ десублимированным UF₆ на 70% их объема. Результаты представлены на рисунках 1 и 2. Черной точкой на графиках отмечены предельные значения отношения высоты и радиуса (H/R) емкостей.

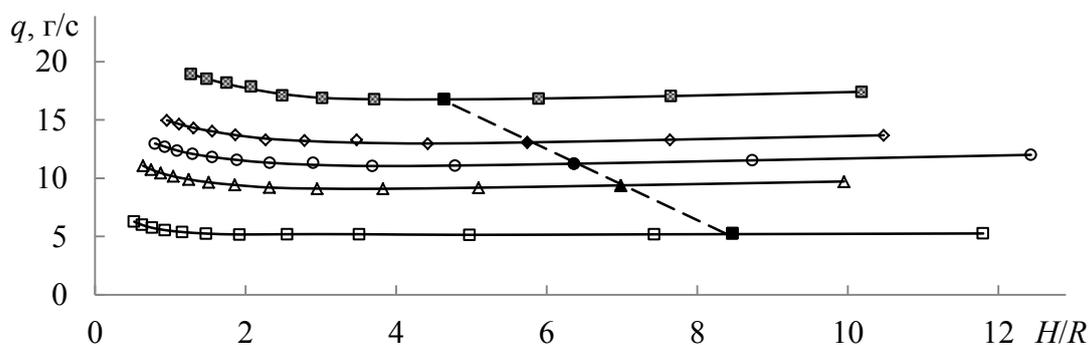


Рисунок 1. Зависимость средней производительности емкостей от отношения H/R
□ – $V=1,0$ м³; △ – $V=2,0$ м³; ○ – $V=2,5$ м³; ◇ – $V=3,0$ м³; ■ – $V=4,0$ м³

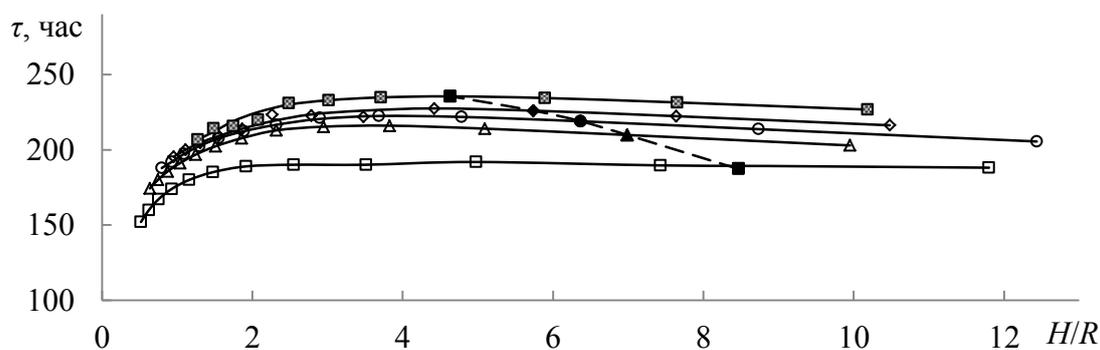


Рисунок 2. Зависимость времени заполнения емкостей от отношения H/R
□ – $V=1,0$ м³; △ – $V=2,0$ м³; ○ – $V=2,5$ м³; ◇ – $V=3,0$ м³; ■ – $V=4,0$ м³

Показано, что для каждой емкости имеется свое предельное значение отношения H/R , при котором их средняя производительность достигает «наибольшего» значения: $1,0$ м³ – 8,45; $2,0$ м³ – 6,99; $2,5$ м³ – 6,37; $3,0$ м³ – 5,74 и $4,0$ м³ – 4,64.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orlov A.A., Tsimbalyuk A.F., Malyugin R.V., Glazunov A.A., Dynamics of UF₆ desublimation with the influence of tank geometry for various coolant temperatures, MATEC Web of Conferences. 72 (2016) 01079.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА НА ДИНАМИКУ ЗАПОЛНЕНИЯ ЕМКостей С ГЛАДКИМИ ВНУТРЕННИМИ СТЕНКАМИ ДЕСУБЛИМИРОВАННЫМ UF₆

Котельникова А.А., Мalyugin P.B.

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

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

E-mail: malyugin@tpu.ru

Для определения возможности повышения эффективности процесса десублимация газообразного UF₆ на разделительных предприятиях и исследования влияния на среднюю производительность емкостей различных факторов разработана упрощенная трехмерная математическая модель нестационарного процесса десублимации UF₆ [1].

В данной работе представлено исследование влияния параметров, задающих режим процесса десублимации (на разделительных предприятиях десублимация UF₆ осуществляется при температуре хладагента минус 20°C и рабочем давлении в коллекторе давлении 70 мм рт. ст.). Расчет средней производительности проведен для емкостей объемом 1,0 м³ и 2,5 м³ с гладкими внутренними стенками, емкости объемом 6·10⁻² м³ с горизонтальным оребрением, а также емкости объемом 2,5 м³ с вертикальным оребрением. Расчет заполнения емкостей до 70% их объема проводили при температуре газообразного UF₆ 30°C, изменении рабочего давления в коллекторе от 60 до 80 мм рт. ст., температурах хладагента минус 15°C, минус 20°C и минус 25°C.

Давление в коллекторе выше 80 мм рт. ст. не рассматривалось, так как при дальнейшем повышении давления температура фазового перехода UF₆ становится равной температуре в машинном зале и для предотвращения десублимации газообразного UF₆ в трубах коллектора требуется осуществлять их подогрев. Дальнейшее понижение температуры хладагента (насыщенного раствора CaCl₂) также не желательно, поскольку это приведет к значительному увеличению его вязкости.

Расчеты показали, что увеличение средней производительности не зависит от объема емкости и наличия в ней горизонтального или вертикального оребрения. Из рисунка 1 видно, что повышение давления в коллекторе с 60 до 80 мм рт. ст. и понижение температуры хладагента от минус 15 до минус 25°C приводит к линейному увеличению средней производительности емкостей. Увеличение давления в коллекторе от 60 до 80 мм рт. ст. и понижение температуры хладагента от минус 20°C до минус 25°C позволяет повысить среднюю производительность емкостей на 27,6–30,5%.

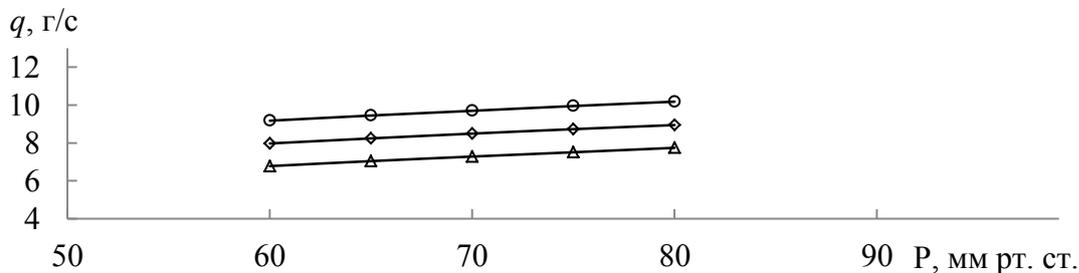


Рисунок 1. Зависимость средней производительности емкости 2,5 м³ с гладкими внутренними стенками от давления в коллекторе при температуре хладагента ○ – минус 25°C, ◇ – минус 20°C, △ – минус 15°C

Таким образом, можно констатировать, что дальнейшее увеличение рабочего давления в коллекторе и снижение температуры хладагента для увеличения эффективности процесса десублимации UF₆ нецелесообразно. Это потребует добавить в технологию десублимации обогрев труб, что усложнит технологию и увеличит ее себестоимость, и использовать другой, возможно более дорогостоящий, хладагент с меньшей вязкостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orlov A.A., Tsimbalyuk A.F., Malyugin R.V., Glazunov A.A., Dynamics of UF₆ desublimation with the influence of tank geometry for various coolant temperatures, MATEC Web of Conferences. 72 (2016) 01079.

ЦЕЛЕВЫЕ ФУНКЦИИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ

Мустафин А.Р., Смирнов А.Ю., Сулаберидзе Г.А.

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

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

Важную роль при проектировании разделительных каскадов играет оптимизация их параметров. Оптимальным каскадом обычно называют установку, позволяющую получить необходимое количество товарного продукта при минимальных удельных затратах. При этом, во многих ситуациях, минимальным удельным затратам отвечает каскад, имеющий минимально возможное число разделительных элементов (например, газовых центрифуг). Однако существуют и другие критерии, оптимизация по которым приводит к другому набору параметров каскада. В связи с этим важным представляется анализ используемых при оптимизации целевых функций и их взаимосвязи.

В работе предложена методика оптимизации каскадов для разделения изотопов на основе генетических алгоритмов. Применение подобных оптимизационных методов в теории каскадов является перспективным ввиду того, что они устойчивы к заданию начальных приближений и практически не зависят от вида целевой функции, а также легко адаптируются к изменению размерности среды. Данные особенности часто являются основными проблемами при оптимизации параметров разделительных каскадов. Работоспособность методики проверена сравнением с результатами оптимизационных расчетов, выполненных другими методами. Разработанная методика может быть адаптирована для оптимизации различных вариантов каскадов как для разделения бинарных, так и для разделения многокомпонентных смесей.

В качестве примера рассмотрена задача оптимизации разделительного каскада с переменными коэффициентами разделения ступени для обогащения природного урана. Оптимизация выполнена по различным критериям эффективности. Полученные результаты позволили сравнить между собой параметры каскадов, оптимизированных по различным критериям, и выявить взаимосвязи между последними.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-00249).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ α -АКТИВНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ НА ПОВЕРХНОСТИ

Хорохорин Д.М.¹, Еремеев Р.С.¹, Балачков М.М.²

Научный руководитель: Хан В.А.², д.т.н.

¹ФЯО ФГУП «Горно-химический комбинат» 662970, г. Железногорск, ул. Ленина 53,
e-mail: atomlink@mcc.krasnoyarsk.su

²Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: dmh1@tpu.ru

Известно, что пробег в воздухе β -частиц, испускаемых радионуклидом ^{90}Sr ($E=545$ кэВ) составляет около 1,2 м. Поэтому зарегистрировать ^{90}Sr на стационарном турникете относительно легко - детекторы не требуют близкого расположения к контролируемой поверхности. Ниже приведен вид стационарной автоматизированной установки контроля загрязнения человека, выполненной в виде стойки с блоками детектирования β -частиц на контролируемых участках тела.



С радионуклидами, излучающими преимущественно α -частицы, например ^{239}Pu и ^{241}Am , дело обстоит иначе. Пробег α -частицы (при $E=4$ МэВ) в воздухе составляет около 2,5 см, что требует очень близкого расположения детектора к измеряемой поверхности. Также следует учитывать, что у существующих сцинтилляционных детекторов α -частиц примерно половина α -частиц не долетает до сцинтиллятора, т.к. поглощаются в пленке, препятствующей попаданию света на сцинтиллятор и ФЭУ. Это требует увеличения времени экспонирования для набора достаточной статистики. В результате создание установки автоматического контроля загрязнения кожи человека радионуклидом ^{239}Pu затруднено.

Распад ^{239}Pu происходит по двум направлениям: α -распад и спонтанное деление (вероятность спонтанного деление $3,1 \cdot 10^{-10}$ %). При α -распаде образуется ^{235}U . Энергия испускаемых α -частиц и их вероятности приведены в таблице.

E, МэВ	5,105	5,144	5,156
вероятность, %	11,94	17,11	70,77

Длина пробега α -частиц в воздухе при 760 мм рт.ст. и температуре 15°C зависит от энергии α -частиц и определяется по формуле: $R_v = 0,316 \cdot E_a^{3/2}$. Таким образом, оценка длины пробега дает величину R_v (5,1 МэВ) = $0,316 \cdot 5,1^{3/2} = 3,63$ см.

Величину пробега α -частицы в веществе можно определить, если известен пробег в воздухе:

$$R = R_0 \frac{\rho_0}{\rho} \sqrt{\frac{A}{A_0}},$$

где R – пробег α -частицы в веществе; R_0 - пробег α -частицы в воздухе; ρ , A – плотность и атомный вес вещества; для воздуха $\rho_0 = 1,29$ г/л и $A_0 = 14,4$.

Известно, что пробег α -частицы максимален в газах, у которых минимальна плотность и максимальна атомная масса. Например, пробег α -частиц в водороде и гелии равен 13,7 см и 9,8 см соответственно.

Для создания стационарной установки для контроля загрязненности кожи человека α -активными радионуклидами предлагается отказаться от защитной пленки сцинтиллятора и ФЭУ в стандартном детекторе. Также необходимо использовать газовую среду, в которой пробег α -частицы значительно больше. Это позволит увеличить расстояние между детектором и контролируемой поверхностью. Поэтому возможно создание автоматизированной системы контроля загрязнения кожи человека α -излучающими нуклидами. При этом возникает задача герметизации замкнутого объема с гелием от атмосферы при контроле уровня загрязнения поверхности руки. Пути решения этой задачи обсуждаются в докладе.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ЕМКостей ДЛя ДЕСУБЛИМАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

Картавых А.А., Крайнов А.Ю.

Научный руководитель: Крайнов А.Ю., д.ф.-м.н., профессор
Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: akrainov@ff.tsu.ru

В процессе разделения изотопов урана на предприятиях разделительно-сублиматного комплекса АО «ТВЭЛ» в качестве хладоносителя широко используется жидкий азот. В том числе и на заводе разделения изотопов (ЗРИ) АО «СХК», где жидкий азот используется для охлаждения емкостей в процессе фракционного разделения газовых смесей на объединённом участке конденсационно-испарительных установок (ОУ КИУ).

Процесс фракционного разделения применяется для очистки технологических потоков газовой смеси гексафторида урана (ГФУ) от легких примесей, в основном от фтористого водорода (HF). Процесс разделения основан на прокачке потока газовых смесей через ряд последовательно расположенных емкостей, охлаждаемых до различных температур, с конденсацией и десублимацией компонентов смеси на охлажденных поверхностях емкости. Температура охлаждения емкости определяется давлением насыщенного пара компонента газовой смеси, улавливаемого в данной емкости. Так для десублимации HF и следов ГФУ, называемыми проскоками, применяются осадительные емкости (ОС) охлаждаемые до температуры 77 К жидким азотом.

С учетом значительных объемов потребления жидкого азота, задача по изменению способа охлаждения становится весьма актуальной.

Наиболее перспективным путем изменения существующей схемы является применение в качестве хладоносителя холодного воздуха. В публикации [1] рассмотрен вариант низкотемпературного охлаждения ОС холодным воздухом до температуры 133 К. В качестве источника холодного воздуха выступает турбодетандерная воздушно-холодильная машина (ВХМ).

Для оценки возможности применения холодного воздуха взамен жидкого азота проведён ряд опытных работ на специально сконструированной экспериментальной установке. Опытные работы заключались в имитации процесса фракционного разделения при охлаждении ОС холодным воздухом с температурой 133 К. По результатам опытных работ эффективность улавливания HF из потока газовой смеси составила более 99 % [2].

В настоящее время для оценки эффективности низкотемпературного охлаждения в технологическом процессе разделения изотопов урана, смонтирована демонстрационная линия опытно промышленной эксплуатации воздушного охлаждения на ОУ КИУ ЗРИ АО «СХК». Проведено несколько циклов по десублимации потоков газовой смеси, в емкостях охлаждаемых холодным воздухом в действующем технологическом процессе ОУ КИУ ЗРИ АО «СХК». Проведена количественная оценка проскоков HF через охлаждаемые емкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-48-700732 p_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дурновцев М.И., Картавых А.А., Крайнов А.Ю., Чуканов М.В., Шрагер Э.Р. Применение способа охлаждения с использованием воздушно-холодильной машины для десублимации гексафторида урана. Сборник трудов IX всероссийской научной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики (ФППСМ-2016)», г. Томск. – Томск: Томский государственный университет, 2016. С. 389-391.
2. Картавых А.А., Губанов С.М., Крайнов А.Ю. Оценка влияния неконденсируемых газов на процесс десублимации фтористого водорода. Вестн Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2017. № 46. DOI: 10.17223/19988621/46/9.

Секция 2

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

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

ИММОБИЛИЗАЦИЯ РАО В МАТРИЦАХ ИЗ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Григорьев А.С.^{1,2}, Чубреев Д.О.¹

Научный руководитель: Антоненко М.В.,¹ к.т.н., Мышкин В.Ф.,² д.ф.-м.н., профессор

¹ ФГУП «Горно-химический комбинат», 662972, г. Железногорск, ул. Ленина, 53

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

E-mail: atomlink@mcc.krasnoyarsk.su

Одной из проблем ядерной энергетики является обращение с радиоактивными отходами. Например, в период эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР) ФГУП «ГХК» отработанные тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ) хранились в бассейнах выдержки Реакторного завода (РЗ). К настоящему времени в бассейнах хранения образовалось большое количество радиоактивных иловых отложений. Эти отложения имеют природное происхождение наносного характера и содержат радионуклиды, в том числе ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ¹⁵²Eu, ¹⁵⁴Eu, имеющие бета- и гамма-активность [1]. В настоящий момент в соответствии с ГОСТ Р 51883-2002 проведён анализ возможности включения иловых отложений в керамическую матрицу из каолиновой (К), красной глины (Кр) и суглинка (С) [2].

Известные способы отверждения радиоактивных иловых отложений, такие как включение в МКФ-керамику, цементирование, битумирование, остекловывание имеют ряд недостатков. Создание МКФ-керамики осложнено спецификой хранения реагентов. Цементирование пригодно для иммобилизации отходов с удельной активностью менее $3,7 \cdot 10^6$ Бк/кг. Кроме того, полученные на основе цемента компаунды имеют высокую скорость выщелачивания ($\leq 10^{-3}$ г/см²·в сутки). Битум в качестве материала для связывания отходов предъявляет более высокие требования к пожаро- и взрывобезопасности. Остеклованные отходы термодинамически нестойки. Поэтому при повышении температуры возможна кристаллизация стекла, которая сопровождается растрескиванием и поэтому существенным возрастанием скорости выщелачивания [3, 4, 5].

В докладе обсуждаются физико-химические характеристики исходных радиоактивных иловых отложений, оптимальный состав матрицы. Приводятся результаты проведенных, в соответствии с ГОСТ Р 51883-2002, испытаний, а также результаты исследования радиационной стойкости глинистых материалов, учитывающие несколько каналов распада радионуклидов: ¹³⁷Cs (β-распад, 1,176 МэВ); ²⁴¹Am (α-распад, 5,638 МэВ); ¹⁵²Eu (γ-распад, 39,9-122,0 кэВ); ¹⁵⁴Eu (β-распад, 99%) (γ-распад, 0,1-1,4 МэВ, 1%). Данные о сечениях взаимодействия изотопов с γ - излучением, получены в программе Janis 4.0.

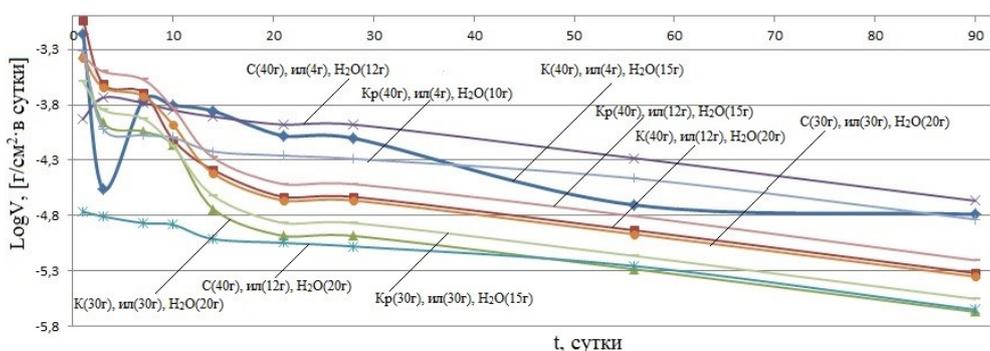


Рисунок 1. Зависимость от времени скорости выщелачивания Cs-137 из матриц

В рамках данного исследования изучены свойства различных глинистых материалов, характеристики иловых отложений и матриц из глинистых материалов. Показано, что полученные матрицы из глинистых материалов соответствуют требованиям ГОСТа [2] и не уступают по физико-химическим свойствам материалам, получаемым другими известными способами, такими как включение в МКФ-керамику, цементирование, битумирование, остекловывание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М. Antonenko, V. Myshkin, A. Grigoriev and D. Chubreev «Clay-based Matrices Incorporating Radioactive Silts: a Case Study of Sediments from Spent Fuel Pool». AIP Conference Proceedings Vol.1938. ITMA-2017.
2. ГОСТ Р 51883-2002. Отходы радиоактивные цементированные. Общие технические требования, ГОССТАНДРАТ РОССИИ, Москва, 2012.
3. Семенов В. Н., Вестник Магистратуры 5, 32–34 (2016).
4. Гафарова В. В., Калугина Т. А., Eng. Technol. 9(4), 585–597 (2016).
5. V. M. Vieira and C. C. Oliveira de Tello. Universal J. Chem. 5(1), 1–5 (2017).

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА В ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

Мюсова А.Е., Луценко Ю.Ю.

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

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

E-mail: luts@mail.ru

Высокочастотный факельный разряд широко используется для проведения различных плазмохимических процессов, в том числе и протекающих в восстановительных средах. Восстановительные среды используются для получения чистых металлов из их оксидов, в одностадийном процессе, без использования доменного производства. В качестве восстановительных сред используются метан и смесь метана с водородом. Заметим, что эти газы относятся к лёгким газам, имеющим удельный вес меньше удельного веса воздуха. При изменении удельного веса газовой среды изменяются также характеристики возбуждаемого в ней высокочастотного факельного разряда.

В настоящей работе рассмотрено влияние удельного веса газовой среды на электродинамические характеристики факельного разряда. При этом вместо взрывоопасных газовых сред, таких как метан и водород использовались инертные газы – гелий и смесь гелия с аргоном.

Измерения характеристик электромагнитного поля факельного разряда проводилось посредством емкостных зондов, перемещаемых вдоль плазмоида разряда. Емкостной зонд представлял собой медный штырь длиной 3 мм, сигнал с которого по линии с двойной экранировкой подавался на вход осциллографа. Исследуемый факельный разряд возбуждался в цилиндрической кварцевой камере диаметром 28 мм и длиной 500 мм. Частота электромагнитного поля составляла 37 МГц. Мощность разряда варьировалась от 0,5 до 2 кВт.

Заметим, что при горении факельного разряда в относительно тяжёлых газах, таких как воздух и аргон, затухание электромагнитного поля вдоль оси разряда [1,2] практически отсутствует. Форма канала разряда при этом близка к конусообразной. В случае же горения факельного разряда в лёгких газах наблюдается уменьшение амплитуды электромагнитного поля вдоль оси разряда. В гелиевой плазме амплитуда электромагнитного поля уменьшается в 2 раза, в смеси гелия с аргоном на 33...40% в зависимости от соотношения долей газов в смеси. Форма канала разряда при этом является цилиндрической.

Ранее было высказано предположение о существовании в канале факельного разряда наряду с «прямой» также и отражённой [1] электромагнитной волны. Данное предположение было подтверждено результатами высокоскоростной фотосъёмки волн свечения [2], распространяющихся в импульсном факельном разряде. В результате этих измерений было установлено, что в воздушной плазме разряда на конце его канала формируется стример. Формирование стримера создаёт возмущение, которое распространяется в виде обратной волны свечения. Волны свечения, распространяющиеся вдоль канала разряда, были отождествлены в работе [2] с фронтом электромагнитной волны.

Таким образом, фактором, обуславливающим появление в канале разряда отражённой электромагнитной волны, является рождение стримера. Рождение стримера в конце канала факельного разряда, на наш взгляд, обусловлено формой канала разряда, как правило, имеющего вид сходящегося конуса. На вершине конуса напряжённость электрического поля существенно возрастает, что создаёт условия для рождения стримера.

Полученные результаты позволяют высказать предположение, что при увеличении плотности плазмообразующего газа вклад отражённой электромагнитной волны в энергетический баланс разряда возрастает.

Заметим, что в случае канала разряда в виде сходящегося конуса невозможно интерпретировать экспериментальные результаты без предположения о наличии в канале разряда отражённой электромагнитной волны, так как при сужении диаметра канала затухание электромагнитного поля возрастает. В случае же факельного разряда, горящего в гелиевой плазме, имеющееся распределение электрического поля можно объяснить распространением вдоль канала разряда лишь одной электромагнитной волны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. Взаимосвязь геометрии высокочастотного факельного разряда с характеристиками его электромагнитного поля // Журнал технической физики. – 1989. - № 11. – с.128-130.
2. Хальясте А.Я. Распространение волн свечения в одноэлектродном ВЧ разряде // Тез. докл. IV Всесоюз. конф. по физике газового разряда. Махачкала. 1988. Часть 1. С.135 – 136.

SYNTHESIS OF CARBON NANOTUBES BY ELECTRIC DISCHARGE PLASMA

Vassilyeva Yuliya Z.

Scientific Adviser: Alexander Ya. Pak, Ph.D, Associate professor
30, Lenin Avenue, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, 634050
E-mail: yzv1@tpu.ru

Nowadays, synthesis of carbon materials is one of the most perspective nanotechnology areas [1]. Among these materials, carbon nanotubes (CNTs) occupy a special place. Carbon nanotubes shows a unique properties, such as high electrical conductivity, chemical and thermal stability, ability to accumulate gases, as well as greater durability and high values of elastic deformation.

There are several methods of CNTs synthesis. For example, laser ablation [2], chemical vapor deposition [3] and electric arc discharge [4-5]. Last 20 years, much attention has been paid to synthesis of carbon nanotubes by an electric arc discharge method, because this method is promising, simple and cost effective. Typically, such synthesis processes are implemented using electric arc reactors separately, combined or separately-combined types [6].

This paper addresses the issue of the CNTs synthesis in W-C system by electric discharge plasma in the open air without using any vacuum equipment. At the first stage, series of experiments on synthesis of carbon nanostructures was carried out using a vacuum-free electric arc reactor. At the next stage, XRD and TEM analysis of obtained ultradispersed powder product were carried out.

According to X-ray diffraction data, the synthesized product contains several crystalline phases. Three is graphite C, carbon nanotubes C, tungsten W, tungsten carbides WC and W_2C . The addition of tungsten to the synthesis process contributes to the formation of carbon nanotubes [7].

The results of HRTEM analysis is shown in Figure 1. These results confirm the presence of carbon nanotubes in the synthesized material. The CNT diameter is in the range of 80-100 nm, and the length of carbon nanotubes averages up to about 1 micron.

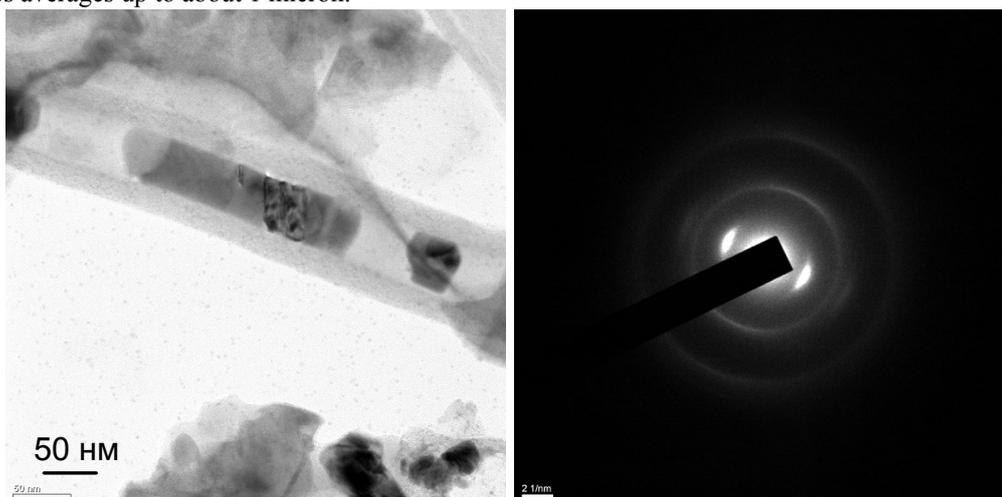


Fig.1. HRTEM image and typical electron diffraction pattern

According to the calculations performed on the electron diffraction pattern, the interplanar distances correspond to the reference values of multilayer carbon nanotubes according to the PDF4 + program data within the limits of the permissible error.

Thus, in this paper, the synthesis of carbon nanotubes in the W-C system by electric discharge plasma in the open air without the use of any vacuum equipment and systems for the generation of protective gaseous media is considered.

REFERENCES

1. A. Modi, N. Koratkar, E. Lass, B.Q. Wei, P.M. Ajayan, Nature 424 (2003) 171.
2. K. Awasthi, A. Srivastava, O. Srivastava, Journal of Nanoscience and Nanotechnology 5 (2005) 1616.
3. Y.M. Li, D. Mann, M. Rolandi, W. Kim, A. Ural, S. Hung, et al. Nano Lett. 4 (2004) 317–321.
4. Y.J. Su, Y.Z. Zhang, H. Wei, Z. Yang, E.S.W. Kong, Y.F. Zhang, Carbon 50 (2012) 2556–2562.
5. Arora N., Sharma N. Diamond & Related Mater 50 (2014) 135–50.
6. Михайлов Б.И. Электродуговые плазмохимические реакторы раздельного, совмещенного и раздельно-совмещенного типов // Теплофизика и аэромеханика. – 2010. – т.17. – №3. –С.425-440.
7. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены. –М.: Логос, 2006. 376 с.

ФОТОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ, ПРИ ФОТОЛИЗЕ ЖИДКОГО АЦЕТОНА

Лукин А.В., Леонтьева Д.А., Еремеев Р.С.

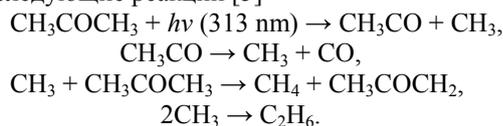
Научный руководитель: Мышкин В.Ф.

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

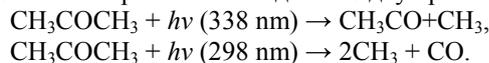
E-mail: gos100@tpu.ru

Органические соединения, содержащие стабильный изотоп ^{13}C , не представляющий радиационной опасности для человека, находят все более широкое применение для диагностики различных заболеваний путем проведения дыхательных тестов [1], магнитного резонанса [2]. Изотоп ^{13}C также используется при изучении кинетики химических реакций при разработке новых лекарственных средств [3]. Стабильные и радиоактивные изотопы углерода получили широкое распространение в диагностике и лечении самых разных заболеваний. В настоящее время изотопная продукция имеет высокую стоимость. Поэтому актуальные исследования по разработке новых методов разделения изотопов.

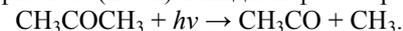
Для органических соединений известен метод магнитного управления химической активностью радикалов на основе магнитного изотопного эффекта [4]. Этот эффект проявляется в химической реакции между двумя радикалами, протекающей во внешнем постоянном магнитном поле. Путем подбора значений температуры жидкости, давления газа, внешнего магнитного поля можно получить величину коэффициента однократного разделения изотопов, значительно превышающую изотопный эффект промышленных методов получения изотопов. Нами изучается возможность получения обогащенных по изотопу ^{13}C веществ в процессе фотолиза ацетона в слабом постоянном магнитном поле. Излучение процесса фотолиза ацетона показало, что физико-химические процессы зависят от длины волны излучения и температуры ацетона. Процессы при фотолизе ацетона на 313 нм в диапазоне температур 100-200°C включает следующие реакции [5]



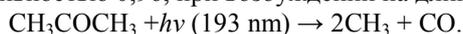
Фотолиз ацетона в газовой фазе может протекать по одной из двух реакций [6]



Вплоть до вакуумного ультрафиолета (ВУФ) в жидкой фазе образуется метильный радикал: (308 нм) [7], (260 нм и 248 нм) [8]



В ВУФ области первичными частицами фотолиза являются CH_3 и CO . Основной путь фрагментации ацетона, протекающей с эффективностью 0,96, при возбуждении на длине волны 193 нм [9]



Квантовая эффективность образования продуктов фотолиза ацетона ($\lambda = 185 \text{ nm}$) при 25°C и общем давлении газа 20 торр: $\text{CO} - 1$; $\text{C}_2\text{H}_6 - 0,95$; $\text{CH}_3\text{COC}_2\text{H}_5 - 0,04$; $\text{CH}_4 - 0,03$; $\text{H}_2 - 0,01$.

Следует отметить, что изотопная селективность рассматриваемых радикальных процессов в магнитном поле должна быть высокой в случае, если квантовая эффективность близка к 0,5. Также необходимо, чтобы целевой изотоп располагался на реакционном центре хотя бы одного из радикалов. Подобрать такие условия для ацетона не представляет трудности.

Для изучения изотопного эффекта при фотолизе ацетона в постоянном магнитном поле нами используется излучение на длине волны 207 нм, постоянный магнит с намагниченностью 1,1 Тл. В докладе анализируются процессы, протекающие при фотолизе ацетона и изотопный состав образующего газа. Исследования финансировались в рамках гранта РФФИ №16-08-00246.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рапопорт С.И., Шубина Н.А., Семенова Н.В. ^{13}C -дыхательный тест в практике гастроэнтеролога. М.: ИД-Медпрактика-М, 2007, 136 с.
2. Brindle K.M., Bohndiek S.E., Gallagher F.A., Kettunen M.I. // *Magn. Reson. Med.*, 2011, v. 66, p. 505-519
3. Yamazaki S., Toth L.N., Kimoto E. et al. // *Drug. Metab. Dispos.*, 2009, **37** 937-945
4. Зельдович Я.Б., Бучаченко А.Л., Франкевич Е.Л. Магнитно-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике // УФН 1988 155 (1) С.3-45
5. D. E. Hoare The Role of an Inert Gas in the Photolysis of Acetone // *Trans. Faraday Soc.*, 1957, **53**, 791-799
6. B. Rajakumar et al. // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 199 (2008) 336-344
7. Blitz, M. A., Heard, D. E., Pilling, M. J., Arnold, S. R., and Chipperfield, M. P.: Pressure and temperature-dependent quantum yields for the photodissociation of acetone between 279 and 327.5 nm // *Geophys. Res. Lett.*, 31, L06111
8. Simon W. North, David A. Blank, J. Daniel Gezelter, Cheryl A. Longfellow, and Yuan T. Lee. Evidence for stepwise dissociation dynamics in acetone at 248 and 193 nm // *J. Chem. Phys.*, 102 (11) 1995
9. M. Brouard, M.T. MacPherson, M.J. Pilling, J.M. Tulloch, and A.P. Williamson // *Chem. Phys. Lett.*, 113, 413 (1985)

ФОРМИРОВАНИЕ И РОСТ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Гамов Д.Л.¹, Григорьев А.С.^{1,2}, Хорохорин Д. М.^{1,2}

Научный руководитель: Мышкин В.Ф.

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

²ФГУП «Горно-химический комбинат», 662972, г. Железногорск, ул. Ленина, 53

E-mail: gdl@tpu.ru

Низкотемпературная плазма содержит большое количество химически активных частиц – радикалов. Зачастую плазменные процессы связаны с использованием или образованием конденсированной дисперсной фазы (КДФ). Появление частиц КДФ оказывает существенное влияние на плазменные процессы. КДФ позволяет разделять за короткое время продукты газофазных плазменных процессов от исходных реагентов по разным фазовым состояниям веществ, например, при разделении изотопов.

Известно, что большинство химических элементов состоят из двух или более изотопов. Ранее показано, что радикальные химические реакции в низкотемпературной плазме, находящейся в магнитном поле, селективны по изотопам. Поэтому актуальны исследования явлений, связанных с изучением процесса формирования частиц КДФ в плазме, находящейся в магнитном поле.

В плазмохимических процессах состав исходной смеси оказывает влияние как на физико-химические процессы, так и на состав конечных продуктов. Для моделирования равновесного состава компонентов при различных температурах использовали программу «TERRA». В качестве плазмообразующего газа рассматривалась смесь Ar, O₂ и N₂ при атмосферном давлении, содержащая атомы Fe, C.

Расчетные графики содержания различных соединений в равновесных условиях имеют максимумы, температурная зависимость которых связана с составом плазмообразующей смеси. Можно утверждать следующее. CO₂ образуется лишь при избытке кислорода относительно Fe и C. КДФ, состоящая из смеси дисперсного углерода и оксидов железа, образуется при низких температурах. В условиях термодинамического равновесия дисперсный углерод формируется лишь при содержании кислорода в плазмообразующих смесях (Ar – 100, Fe – 1, C – 1) и (Ar – 70, Fe – 1, C – 1, N₂ – 30) менее 1,3 моль/кг, а Fe₃C – при содержании O₂ менее 1,5 моль/кг. Содержание Fe₃C, при малом содержании кислорода, составляет 0,058 моль/кг, а дисперсного углерода – 1 моль/кг. Азот, образующий оксид при высоких температурах, незначительно влияет на количество образующейся дисперсной фазы плазменной системы. При увеличении концентрации O₂ увеличивается содержание CO и CO₂, и уменьшается количество дисперсного углерода. FeO, в зависимости от температуры, может находиться в виде пара или дисперсных частиц. Полученные закономерности необходимо использовать при анализе экспериментальных данных.

В окружающем плазменный канал пространстве наблюдается окисление паров C, Fe с образованием молекул CO₂ и FeO_x, а также конденсация атомарного углерода при недостатке кислорода. Можно предположить, что окисление дисперсного углерода затруднено при конденсации на нем оксидов железа. Образование зародышей и формирование дисперсных частиц в многокомпонентной системе начинается с одной компоненты, имеющей при заданных условиях меньшее давление насыщенного пара. Давление насыщенного пара железа при температуре 1900К составляет 13,3 Па, углерода при 2030К – 1,33 Па. Поэтому десублимацию углерода можно считать гомогенной, а оксида железа – гетерогенной. Дисперсный порошок осаждали на стеклянную пластину с Al напылением, располагаемую на расстоянии 15 мм по горизонтали от дуги перпендикулярно линиям магнитного поля постоянных магнитов. Аэрозоль также просвечивали с помощью потока широкополосного излучения. Поток прошедшего луча подавали на спектрометр SL-140.

В порошке, формируемом без магнитного поля, рентгенодифракционный анализ (РДА) анализ обнаруживает до 95% углерода. Оксиды железа наблюдаются в незначительном количестве. Во внешнем постоянном магнитном поле 10 мТл формируется дисперсная фаза, в которой содержание микрокристаллов уменьшается в ряду: C (до 50%), Fe₃O₄ (до 45%), Fe₂O₃ (до 15%), FeO (менее 5%). Карбиды железа в дисперсной фазе не обнаруживаются. Анализировали порошок, осаждаемый на стеклянных пластинках, устанавливаемых на расстоянии 15 мм от канала разряда. Без магнитного поля на микрофотографиях видны объемные конгломераты нанодисперсного порошка произвольной формы и размерами до 15 мкм, а также незначительное количество сферических частиц размерами менее 5 мкм. В магнитном поле сферических частиц практически нет, конгломераты наночастиц имеют вид чешуек, а размеры которых не превышают 0,3 мкм. Магнитное поле способствует образованию более крупных частиц (FeO_x)_n перед их столкновением с углеродными частицами. Выделение энергии сублимации способствует слиянию наночастиц (отжиг). Поэтому с помощью РДА в порошке, получаемом в магнитном поле, регистрируется графит и FeO_x. При выполнении исследований использовались электронный микроскоп ЦКП «АЦГПС» ТГУ и рентгеновский дифрактометр ЦКП ТПУ. Исследования финансировались в рамках гранта РФФИ №16-08-00246.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Гамов Д.Л., Леонтьева Д.А., Еремеев Р.С.

Научный руководитель: Мышкин В.Ф.

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

E-mail: dal16@tpu.ru

Валентный электрон имеет спин, участвующий в магнитных взаимодействиях. Поэтому магнитное воздействие влияет на химические реакции, теплопроводность или пластичность кристаллов, позволяет управлять изотопной селективностью химических реакций в растворах. В магнитном поле в жидкостях наблюдается периодическое изменение вероятности образования химической связи.

Большинство плазменных процессов хорошо изучены и находят широкое применение в различных технологиях: очистка поверхности, получение и переработка порошков тугоплавких материалов, разделение изотопов. В настоящее время влиянию постоянного магнитного поля на плазмохимические процессы и нуклеацию диамагнитных веществ уделяется недостаточно внимания.

Фазовые переходы связаны с формированием или разрушением межмолекулярных связей. Процесс формирования аэрозоля без магнитного поля хорошо изучен. Процесс нуклеации начинается со столкновения трех частиц и формирования ядер конденсации - кластеров атомов. При малом пересыщении кластеры могут самопроизвольно испаряться. Теория флуктуации определяет скорость образования зародышей новой фазы в единице объема:

$$\frac{dN}{d\tau} = \frac{\gamma}{\rho} \sqrt{\frac{2m\sigma}{\pi}} \left(\frac{P}{kT}\right)^2 \exp\left(-\frac{\Delta G}{kT}\right), \quad (1)$$

где N - численная концентрация капель, см^{-3} ; τ - время, с; γ - коэффициент десублимации; ρ - плотность сублимата; m - масса молекулы пара, кг; P - полное давление парогазовой смеси, мм рт.ст.; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T - температура смеси, К; ΔG - работа образования капли, σ - энергия поверхностного натяжения.

Закономерности процесса нуклеации определяются величиной безразмерного параметра $G = k_0 : (K N_a)$, где K - константа скорости трехчастичных столкновений, N_a - концентрация атомов.

Следует ожидать различного действия магнитного поля на десублимацию из низкотемпературной плазмы разных типов магнетиков. Магнитное поле способствует образованию более крупных ферромагнитных частиц оксидов железа. В магнитном поле ферромагнитные частицы оксида железа притягиваются вдоль линий напряженности внешнего магнитного поля. При этом следует помнить, что кластеры Fe или Ni проявляют ферромагнетизм (переход из парамагнитного состояния в ферромагнитное) при превышении диаметра частиц некоторого минимального значения.

Для изучения влияния внешнего магнитного поля на процесс формирования ядер конденсации и роста аэрозольных частиц определяли гранулометрический состав образующихся наночастиц. Для определения размеров наночастиц использовали метод SEM-микроскопии и лазерное рассеяние.

При лазерной диагностике гетерогенный поток просвечивали с помощью пучка оптического излучения в диапазоне длин волн 420-650 нм. Интенсивность зондирующего излучения на разных длинах волн, прошедших гетерогенный поток, регистрировали с помощью спектрометра SL-140. Считали, что аэрозольный поток имеет цилиндрическую геометрию, через центр которого проходит зондирующий луч оптического излучения. На участке спектра 0,42 - 0,63 мкм графики имеют незначительное отклонение от линейной зависимости с разным углом наклона к оси OX. Без магнитного поля угол наклона графиков изменяется в более широком диапазоне, чем в постоянном магнитном поле 44 или 76 мТл. Функцию распределения частиц по размерам определяли путем решения обратной задачи. Из экспериментальных данных формировали несколько выборок коэффициентов ослабления. С каждой выборкой из одного спектра пропускания решалась обратная задача, с учетом решений других групп. Добивались схождения решений для большей части обрабатываемых выборок из набора коэффициентов пропускания. Использовались известные алгоритмы и программные коды решения обратной задачи. На SEM-изображениях дисперсные частицы, образующиеся без магнитного поля, имеют широкий диапазон размеров. Видны скопления частиц на площади размером менее 3 мкм. В некоторых скоплениях видны частицы размером менее 200 нм. В постоянном магнитном поле 30 мТл наблюдается сужение диапазона размеров, а также незначительное количество скоплений частиц на площади менее 1 мкм. Также наблюдается значительное количество отдельных частиц размером менее 200 нм. Влияние внешнего постоянного магнитного поля на процесс десублимации диамагнитных веществ связано с воздействием на неспаренные спины атомных частиц из пара и на поверхности наночастиц. Без магнитного поля ориентация неспаренных спинов сталкивающихся частиц в пространстве имеет случайное направление. Прецессия спинов валентных электронов в магнитном поле уменьшает количество возможных пространственных ориентаций двух спинов сталкивающихся частиц. При этом изотопный эффект десублимации значительно увеличивается. Исследования финансировались в рамках гранта РФФИ №16-08-00246.

ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Миклашевич Л.А.¹, Гамов Д.Л.¹, Хорохорин Д.М.^{1,2}

Научный руководитель: Хан В.А.

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

²ФГУП «Горно-химический комбинат», 662972, г. Железногорск, ул. Ленина, 53

E-mail: nt.centre@mail.ru

Низкотемпературная плазма находит применение при получении и переработке порошков, сварке и резке металлов, травлении материалов и синтезе химических соединений. В плазме химические реакции протекают с высокой скоростью. В неравновесной плазме протекают химические реакции, невозможные при нормальных условиях. Нами изучаются изотопные эффекты в плазменных процессах, протекающих в слабом постоянном магнитном поле. Изотопный эффект в плазменных процессах связан с термодиффузией, возбуждением колебательных степеней свободы, зависимостью энергии продуктов реакции от атомарной массы реагентов. Первые два эффекта существенным образом зависят как от абсолютной температуры, так и от распределения температуры в пространстве. Известно, что изотопный эффект фазовых переходов зависит от величины магнитного поля. В плазменных технологиях важными являются скорость закалки продуктов плазменных процессов, которая определяет размеры частиц изотопный эффект фазовых переходов. Для дисперсных частиц, образующихся при закалке плазмы, энергия рассеянного зондирующего излучения концентрируется в направлении распространения зондирующего излучения. Большинство схем регистрации малоуглового рассеяния не позволяют измерять интенсивность излучения, рассеянного в направлении угла «0°». Нами апробирован интерферометр Майкельсона для диагностики крупных частиц. Если амплитуды потоков, прошедших по двум каналам интерферометра равны ($I_1 = I_2 = 0,5 I_0$), а потерь нет, то интенсивность выходного излучения интерферометра

$$I = I_0 [1 + \cos(\varphi_1 - \varphi_2)]. \quad (1)$$

Интенсивность выходного луча, если одно из плеч проходит через аэрозоль

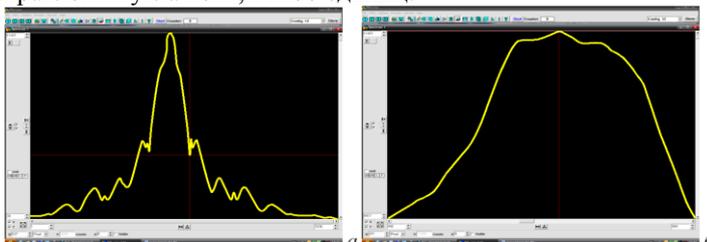
$$I = 0,5 I_0 (2 - \alpha) + I_0 \sqrt{1 - \alpha} \cos[\varphi_1 - \varphi_2] + 0,5 I_0 \sigma_{эф}, \quad (2)$$

где объемные коэффициенты: α - ослабления, $\sigma_{эф}$ - рассеяния.

Если в измерительном плече интерферометра находится единственная дисперсная частица, то выражение (2) справедливо для области тени исходного пучка. Интенсивность излучения на выходе интерферометра зависит от разности хода лучей. Плоскость поляризации рассеянного излучения отличается от первоначального положения. Поэтому путем подстройки разности длин плеч можно добиться полного ослабления интенсивностей исходных пучков, а рассеянного - нет. При этом возможна регистрация малоугловой индикатрисы рассеяния, включая направление угла «0°».

Для регистрации малоугловой индикатрисы был использован лазер ЛГН-118, интерферометр Майкельсона, в котором расстояние от зеркал до светоделительной пластины составлял 20 см. Цифровая камера HS 101H-1024/28 имела ПЗС-матрицу 1024×58 пикселей размерами 24×24 мкм. Использовалась линза с фокусным расстоянием 20 см, в передней фокальной плоскости которой находились пылинки, в задней – ПЗС-матрица. Для управления дисперсными частицами использовали воздушный поток.

Экспериментальная индикатриса рассеяния в малоугловой области излучения гелий-неонового лазера на частицах железа (размеры в диапазоне 50-63 мкм) приведена на рисунке. Видно, что имеется всплеск интенсивности в направлении зондирующего излучения. Линейный размер области индикатрисы с большей интенсивностью составляет 1,2 мм. Угловой размер этого пика значительно больше дифракционного пятна лазерного излучения, формируемого линзой из остаточного потока зондирующего излучения. Без дисперсных частиц дифракционное пятно имеет линейный размер 0,168 мм с относительной амплитудой 100 единиц. При этом суммарная интенсивность потока, регистрируемого в направлении угла «0°», 11400 единиц.



В докладе приводятся данные, показывающие, что метод и устройство на основе интерферометра

Майкельсона позволяют с высокой достоверностью определять гранулометрический состав аэрозолей.

Исследования финансировались в рамках гранта РФФИ №16-08-00246.

СТРУКТУРА ПЛЕНОК, НАПЫЛЯЕМЫХ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПУТЕМ МАГЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Загузин И.Ю., Лютиков О.Н.

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

E-mail: iyz4@tpu.ru

Технология получения тонких пленок находит широкое применение в различных областях промышленности, среди которых приборостроение, лазерная техника, микроэлектроника и медицина. В вакуумно-плазменных технологических процессах осаждения тонких плёнок наряду с другими методами широко применяется метод магнетронного распыления [1]. К преимуществам магнетронного распыления можно отнести высокую чистоту технологических процессов, возможность формирования равномерных по толщине пленок и экологическую безопасность. Согласно общепринятым представлениям [2], формирование тонкой пленки на ровной поверхности твердого тела происходит в результате зарождения, роста и слияния островков в сплошную пленку. Это означает, что на начальном этапе формирования пленки сорбированные на подложке атомы некоторое время диффундируют по её поверхности. Можно предположить, что аналогичная диффузия напыляемых атомов будет наблюдаться по сплошной пленке напыляемого материала. Как растущая поверхность пленки, так и диффундирующие по поверхности атомы имеют неспаренные спины. Поэтому возможно управлять процессом формирования пленки с помощью постоянного магнитного поля. Для проведения исследований была собрана экспериментальная установка, содержащая следующие узлы: вакуумная камера объемом 5 л, форвакуумный насос ВН-1МГ, вакуумметр ВИТ-2, источник питания GPR-100H05D для питания магнетронного разряда. Постоянный магнит магнетрона кольцеобразной формы с сердечником размещали внизу камеры за ее пределами, что предотвращало его нагрев. Горизонтальная составляющая магнитного поля в пространстве над катодом магнетронного разряда составляла 120 мТл. Вертикальная составляющая поля над катодом не превышала 20 мТл. Внутри вакуумной камеры размещали распыляемый материал (катод) в виде круглой медной пластины, анод из латуни, дополнительный постоянный магнит и стеклянную пластину (подложка), на которой формируется пленка из материала катода магнетронного разряда. Подложка, на которую наносили пленки, находилась в магнитном поле, создаваемым кольцевым магнитом магнетрона, и второго, специально устанавливаемого, магнита. При расстоянии 2 см между магнитом и подложкой в области напыления формировали магнитное поле величиной 96 мТл. В качестве плазмообразующего газа использовали смесь аргон-кислород. Газ из вакуумной камеры откачивается форвакуумным насосом, подсоединяемым к камере с помощью гибкого вакуумного сильфона длиной 40 см. Внутренний диаметр сильфона составлял не менее 3 см. За 10 минут откачки давление в рабочей камере уменьшалось до 10^{-2} мм рт.ст. На источнике питания выставляли ток короткого замыкания на уровне 50-300 мА. Пробой разрядного промежутка наблюдается при напряжении на аноде более 500 В. В дальнейшем напряжение блока питания в режиме короткого замыкания падало до 290-350 В и устойчиво поддерживался магнетронный разряд. При малой мощности скорость распыления незначительна. Поэтому для формирования пленки нужной толщины длительность процесса напыления составляла 2,5 - 3 часов. Толщина пленок, при любой мощности магнетронного разряда, слабо зависит от величины поля. Так, во внешнем магнитном поле 96 мТл средняя толщина пленки составила 169 мкм, а без поля - 172,5 мкм. Это отличие в толщине пленки, скорее всего, связана с пространственной неоднородностью распыляемого пучка атомов мишени и отличием эффективных времен напыления.

Методом магнетронного распыления меди получены пленки, содержащие как локальные участки меди, так и ее оксидов CuO и Cu₂O. Анализ изображений поверхности пленок с помощью сканирующей электронной микроскопии показывает, что слабое внешнее магнитное поле оказывает существенное влияние на процесс формирования морфологии поверхности пленки. Установлено, что размеры отдельных зерен на поверхности пленки без магнитного поля не превышают 3 мкм, а в магнитном поле 96 мТл не превышают 0,45 мкм. В докладе подробно анализируются физико-химические процессы, протекающие на поверхности растущей пленки в слабом магнитном поле, а также показана их зависимость от изотопного состава распыляемой мишени.

Исследования финансировались в рамках гранта РФФИ №16-08-00246.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бизюков А.А., Середа К.Н., Слепцов В.В. Сильноточный магнетронный разряд с магнитоизолированным анодом // Вопросы атомной науки и техники, 2008.- №4, с. 179-183.
2. Дубровский, В. Г., Сибирев, И. В., Цырлин, Г. Э., Устинов, В. М. Теория формирования многослойных тонких пленок на поверхности твердого тела // Физика и техника полупроводников, 2006. - 40(3), 257-263.

РАЗДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА АСИММЕТРИЧНОМ ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ В УСЛОВИЯХ РЕЗОНАНСНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Li Hongda¹, Сосновский С.А.², Абдиянов А.Е.³

Научный руководитель: Тимченко С.Н.³, к.т.н., доцент

¹ Shenyang ligong university, Китайская народная республика;

² Сибирский физико-технический институт Томского государственного университета;

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

E-mail: timsn@tpu.ru

Необходимость совершенствования средств защиты от ионизирующего излучения, диктуемая условиями в системах жизнеобеспечения, требует поиска и создания принципиально новых эффективных методов разделения и выделения химических элементов с достаточно высоким сечением поглощения, таких как кадмий, бор, литий, РЗЭ и т.д., а так же их изотопов. Не менее важно решение задачи по разработке методов разделения и выделения радиоактивных и делящихся химических элементов.

С развитием машиностроения и металлообработки электрохимическое осаждение металлов всё шире применяется для защиты металлических изделий и конструкций от коррозии и механического износа, для придания поверхности изделий специальных свойств, при восстановлении изношенных деталей машин и в декоративных целях, при получении разнообразных сплавов с заданными физико-механическими свойствами.

Массовость использования аккумуляторных батарей выдвигает на первый план вопросы, связанные с надежностью и долговечностью работы, интенсификацией процессов зарядки-разрядки, восстановлением рабочей емкости за счет снятия частичного отравления поверхности электродов и т.д. Интенсификация процесса зарядки наиболее остро стоит в химических источниках тока (ХИТов) с экзотермической реакцией относительно джоулева тепла.

С появлением высокотемпературных сверхпроводников открываются новые возможности для их применения в магнитах, линиях передачи электроэнергии, ЭВМ, приборах и устройствах, основанных на эффекте Джексона. Успешность этих применений зависит от множества взаимозависимых свойств сверхпроводников, таких как плотность критического тока, критические поля, допустимые рабочие температуры, механические свойства и химическая стабильность. Одним из ключевых вопросов при этом являются нанесение гальванических контактов и получение пленочных покрытий (протекторов), решение которых традиционными методами встречает серьезные трудности.

В связи с ростом процессов глубокой переработки нефтяного сырья и необходимостью использования всех ее компонентов, гетероатомные соединения и микроэлементы явились в последнее время предметом пристального изучения. С одной стороны микроэлементы нефти можно рассматривать как потенциальный источник сырья для различных отраслей народного хозяйства, а с другой стороны – микроэлементы нефти отрицательно воздействуют на показатели процессов нефтепереработки, ухудшают качество товарных нефтепродуктов.

Таким образом, проблема интенсификации существующих, поиск и создание принципиально новых технологий, связанных с разделением и выделением химических элементов, является актуальной. Для решения этой проблемы требуется: установить причины возникновения электрохимического резонанса, общие свойства и условия существования характеристических частот; установить основные закономерности протекания асимметричного тока через электрохимическую систему, её пространственную структуру и зависимости от токовых параметров; построить теорию нестационарных электрохимических процессов, определить их физическую природу, механизм, создать математическую модель в условиях электрохимического резонанса; оценить возможности электрохимических процессов на асимметричном переменном токе в резонансных условиях в различных отраслях науки и техники[1,2].

В работе предложен подход к решению задачи по разделению, выделению и концентрированию химических элементов с использованием электрохимических процессов на асимметричном переменном токе в условиях резонансных взаимодействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li Hongda , Kazaryan M. A. , Shamanin I. V. , Timchenko S. N. , Ushakov I. A. Electroinduced drift of solvated ions in salt solution of Ce and Ni // Journal of Chemical Physics. - 2018 - Vol. 130 - №. 8, Article number 111. - pp. 1-6.
2. V. Shamanin, M. A. Kazaryan, S. N. Timchenko, I. A. Ushakov Mechanistic models of the ion-solvation shell system// [Bulletin of the Lebedev Physics Institute](#) -2017 – vol. 44 -iss. 9. – pp. 254–257.

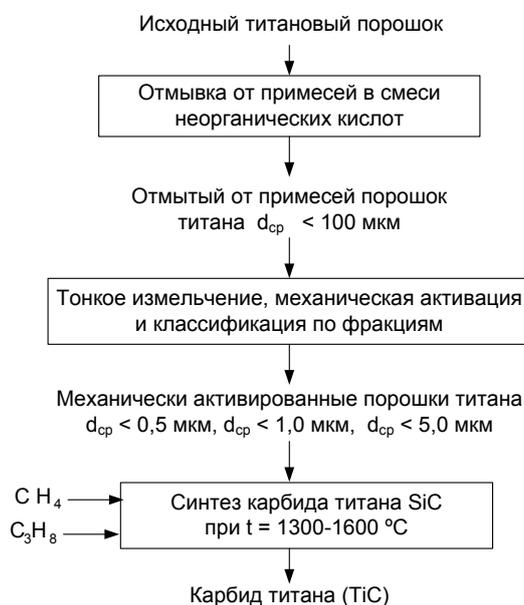
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ВЕЩЕСТВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ АНАЛИЗА

Карелин В.А.^{1,a}, Азанов А.А.^{1,b}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
^avakarelin@tpu.ru, ^bazanovseversk@gmail.com

Современные машиностроительная, металлургическая, химическая и энергетическая отрасли промышленности предъявляют высокие требования к конструкционным материалам, применяемым для изготовления изделий. К таким требованиям, которые не могут обеспечить металлы и сплавы, относятся: высокая химическая стойкость, жаропрочность и жаростойкость изделий при высоких механических и термических нагрузках, низкая удельная плотность, малая себестоимость и экологически чистая технология их производства.

В практике получения высококачественной конструкционной керамики рекомендуется использовать чистые гомогенные порошки тонкодисперсного (субмикронного), состава с равноосной формой частиц, обладающих одинаковой активностью к спеканию. Такой комплекс отличительных характеристик порошков TiC обеспечивают их высокое качество, превышающее выпускаемые аналоги передовых фирм. На рисунке представлена технологическая схема синтеза высококачественных супертонких конструкционных порошков TiC.



Принципиальная технологическая схема производства супертонкого порошка карбида титана TiC

Исходный материал – титановый порошок, полученный электролитическим методом в солевых расплавах, отмывают от примесей железа, алюминия и кальция по описанным в научной литературе методикам до чистоты 99,95-99,97 % мас. по титану. Затем на установке с реактором в “затопленных струях” проводят тонкое измельчение, механическую активацию и классификацию отмытого порошка. Синтез TiC проводят в вакуумной электрической печи из исходных веществ – порошка титана и метана или пропан-бутановой смеси – в соотношении 1 : 1 при 1300-1600 °C. Частицы полученного порошка TiC являются в основном тонкими пластинами и имеют осколочную форму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Biswas K. Liquid phase sintering of TiC-Ceramic. Materials science Forum, V.624, P. 91-108. – 2009.

Секция 3

**ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В
ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ**

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

RADIATION CHARACTERISTICS OF FUEL OF THE IV GENERATION NUCLEAR INNOVATION SYSTEM

Bedenko S.V.¹, Knyshev V.V.¹, Ghal-Eh N.^{2,3}

¹School of Nuclear Science & Engineering, Division for Nuclear-Fuel Cycle National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

²School of Physics, Damghan University, Damghan, Iran

³Department of Physics, School of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
e-mail:bedenko@tpu.

Researches in the field of physics of nuclear fuel of new generation are being carried out at present at National research Tomsk polytechnic university [1-3]. The fuel being developed is a graphite matrix with micro encapsulated fuel (microfuel) of spherical shape in it. The main technological application of these re-searches is creation of low-power high temperature gas-cooled thorium reactor unit [1]. The researchers are of great significance and are generally paid much attention to.

In the present paper a calculated analysis of different configurations of thorium reactor core loading is described. Neutron-physical researches and fuel isotopic composition calculation were made. Alpha-emitters, sources of neutron and photon radiation were analyzed. A calculation instrument which allows evaluating radiation characteristics of nuclear fuel at the reactor designing stage was developed. It also makes it possible to reconsider usual procedures of handling new and irradiated nuclear fuel in a nuclear fuel cycle of new generation [3].

The main attention in the research was paid to the calculation of neutron yield and spectrum formed as a result of (alpha, n)-reactions on light nuclei of microfuel, as the concentration of various alpha-emitters resulting from irradiation is directly dependent on the fuel burn-up, while the concentration of (alpha, n)-neutrons depends on the configuration of microfuel, graphite matrix, concentration of light elements, and modifies the pattern of neutron diffusion flux.

The researched were performed to create an effective calculation instrument used for initial evaluation of radiation characteristics of nuclear fuel in a nuclear fuel cycle of new generation.

An analytical model and verified calculation codes of the programs WIMS-D5B, SCALE 6.0, SOURCES-4C and SRIM-2013 were used.

The work was supported by Russian Science Foundation № 18-19-00136 of April 18, 2018.

REFERENCES

1. Shamanin I.V., Grachev V.M., Chertkov Y.B., Bedenko S.V., Mendoza O., Knyshev V.V. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel // *Annals of Nuclear Energy* 2018, № 113, pp. 286-293.
2. Shamanin, I.V., Bedenko, S.V., Chertkov, Yu.B., Gubaydulin, I.M. Gas-cooled thorium reactor with fuel block of the Unified design // *Izvestiya Wysshikh Uchebnykh Zawedeniy, Yadernaya Energetika*. 2015, Vol. 2015, no 3, pp. 124-134.
3. Shamanin I.V., Bedenko S.V., Chertkov Yu.B. Thorium-loaded low-power reactor installation operated with super-long fuel residence time // *Izvestiya Wysshikh Uchebnykh Zawedeniy, Yadernaya Energetika*. 2016, Vol. 2016, no 2, pp. 121-132.
4. Bedenko S., Shamanin I., Grachev V., Knyshev V., Ukrainets O., Zorkin A. Neutron radiation characteristics of the IVth generation reactor spent fuel // *AIP Conference Proceedings*, 2018, Vol. 1938, № 020001.

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ТОПЛИВА В ДЛИТЕЛЬНОМ РАБОЧЕМ ЦИКЛЕ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ С ГЕЛИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ИСХОДНОМ СООТНОШЕНИИ ТОРИЯ И ПЛУТОНИЯ

Аржанников А.В.¹, Шаманин И.В.², Кнышев В.В.²

¹Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск

²Томский политехнический университет, Томск

E-mail: vvk28@tpu.ru

Ранее авторами [1] проведены исследования физики высокотемпературной газоохлаждаемой ториевой реакторной установки (ВГТРУ). Рабочие функции этой установки должны включать производство тепловой и электрической энергии, а также водорода. При этом возможна модификация активной зоны ВГТРУ в рамках концепции, предложенной сотрудниками ИЯФ СО РАН [2]. Согласно этой концепции, приосевая часть активной зоны установки замещается длинной магнитной ловушкой с высокотемпературной плазмой, которая обеспечивает генерацию термоядерных нейтронов. Цель проводимых нами исследований состоит в том, чтобы развить понимание фундаментальных основ и технологий термоядерной энергетики будущего. В данной работе выполнен анализ 30-ти различных вариантов загрузки активной зоны ВГТРУ. Численное моделирование проведено в программе WIMS-D5B для цилиндрической ячейки бесконечной регулярной решетки (k_{inf}).

Установлено, что для предлагаемой в [2] модификации реакторной установки целесообразно использовать топливную таблетку типа 1017 [1] с содержанием дисперсной фазы $\omega_{fuel}=13$ и 17 %. Для указанной дисперсной фазы, элементный состав топлива и k_{inf} рассчитаны по двум моделям: детальная модель с учетом двойной гетерогенности и модель с гомогенизированной топливной частью. Расчеты проведены в программах MC5TRU и MCNP2.6.0.

Работа поддержана Российским научным фондом (Грант №14-50-00080).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shamanin I.V., Grachev V.M., Chertkov Y.B., Bedenko S.V., Mendoza O., Knyshev V.V. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel // Annals of Nuclear Energy, 2018, 113, pp. 286-293.
2. Arzhannikov A.V., Anikeev A.V., Beklemishev A.D., Ivanov A.A., Shamanin I.V., Dyachenko A.N., Dolmatov O.Yu. Subcritical assembly with thermonuclear neutron source as device for studies of neutron-physical characteristics of thorium fuel // AIP Conference Proceedings, 2016, 1771, № 090004.

ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ТРАДИЦИОННЫМ МЕТОДАМ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Кузоро В.Б.¹, Новоселов И.Ю.²

¹АО Атомтехэнерго, 141011, Россия, г. Мытищи, ул. Коммунистическая, 23

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

E-mail: infi24ity@gmail.com

Все страны, развивающие атомную энергетику, сталкиваются с проблемой нехватки объемов для хранения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Сегодня в России на площадках АЭС и в хранилищах радиохимических заводов размещено около 16000 т ОЯТ. Ежегодный прирост хранящегося топлива составляет более 850 т. Увеличение количества ОЯТ делает проблему обеспечения безопасности все более актуальной [1]. ОЯТ в отличие от «свежего» топлива имеет значительную радиоактивность за счет содержания большого количества продуктов деления которые определяют его активность и токсичность.

В России ОЯТ размещают в основном под водой в бассейнах выдержки. Такие хранилища обеспечивают ядерную и радиационную безопасность ОЯТ, минимизируют выбросы радиоактивных компонентов в окружающую среду. Увеличение объема ОЯТ в хранилищах для обеспечения бесперебойной работы реакторов требуются дополнительные площади хранения. Проблему увеличения вместимости хранилищ ОЯТ можно решить тремя способами: построить дополнительные сооружения для хранения ОЯТ, реконструировать старые бассейны выдержки, перейти к принципиально новым способам хранения. Большинство АЭС в России выбрали второй и третий пути. Последний вариант предусматривает «сухое» хранение – размещение ОЯТ в специальных контейнерах, которые герметизируются сваркой, заполняются гелием и транспортируются к гнезду хранения, гнездо заваривают с последующим контролем герметичности. Отвод тепла за счет конвекции атмосферного воздуха вокруг гнезда обеспечивает безопасный режим хранения [2].

По истечении срока выдержки, топливо можно перерабатывать, таким образом замыкая ядерно-топливный цикл. Стандартный процесс предполагает фрагментирование сборок с ОЯТ, растворение в азотной кислоте, экстракционное извлечение из раствора урана и плутония и производство на их основе МОХ-топлива для АЭС. Оставшиеся без урана и плутония отходы переработки ОЯТ (ОП ОЯТ) представляют собой водно-солевые растворы высокой активности, включающие целый ряд радиоактивных продуктов деления изотопа уран-235. По действующей технологии эти отходы выпаривают, добавляют химические реагенты (силикаты, фосфаты, бораты и другие) и направляют на операцию остекловывания с последующим захоронением в виде брикетов. Однако у существующего способа есть ряд недостатков. ОП ОЯТ в отличие от радиоактивных отходов несут в себе определенную ценность – то, что входит в его состав, может быть востребовано в будущем. Брикет, формирующийся в процессе остекловывания, занимает меньший объем и не содержит уран и плутоний, однако содержит изотопы очень ценных металлов платиновой группы – палладия, родия и рутения. Эти металлы со временем образуются под действием облучения в брикетах, из которых их просто не извлечь.

В работе предлагается использовать низкотемпературную плазму для иммобилизации отходов переработки ОЯТ. Технология позволяет не только встроиться в уже существующий процесс переработки, но и удешевить его путем совместной плазменной иммобилизации горючих и негорючих отходов переработки ОЯТ в воздушной плазме в расплавах хлоридов металлов (натрий, калий), стойких к радиационному облучению. В итоге получается горючая композиция, которая обрабатывается в воздушной плазме при температуре не менее 1200 °С. На выходе образуется своеобразный расплав, который собирается в специальные емкости, затвердевает и отправляется на хранение.

По прошествии необходимого времени из субстанции можно будет извлечь химическими способами металлы платиновой группы. Для сравнения: с одной тонны ОЯТ образуется до 2 килограммов рутения, до 1,5 килограмма палладия и до 0,5 килограмма родия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный ресурс: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2008/10/22/491> Хвостова М.С. Экологические проблемы накопления отработавшего ядерного топлива в России // Вестник РУДН. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2012.– № 2.– С. 104-114.

МОДЕЛИРОВАНИЕ HPGE-ДЕТЕКТОРА МЕТОДАМИ МОНТЕ-КАРЛО

Сабитова Р.Р., Беденко С.В., Зорькин А.И.
Томский политехнический университет, Томск
E-mail: radmila1@tpu.ru

Использование полупроводниковых детекторов решает широкий круг ядерно-физических задач. Вместе с тем, требования, возникающие в ходе исследований, приводят к необходимости усовершенствования технологии получения полупроводниковых детекторов, методов их калибровки и измерения геометрических параметров. Одной из таких задач является определение функции отклика детектора гамма-излучения, необходимое для правильной расшифровки экспериментальных данных.

В данной работе проведено моделирование детектора из особо чистого германия [1-2] в программном комплексе MCNP5. MCNP5 решает задачи переноса нейтронного, фотонного и комбинированного излучения в произвольной трехмерной геометрии многоцелевым методом Монте-Карло [3].

В ходе расчетов было выявлено как разные параметры кристалла детектора влияют на результаты.

На первом этапе, в связи с тем, что отсутствовали данные о расположении электродов, было создано две модели детектора GC1518, отличающихся включением литиевого электрода в линейные размеры кристалла. В результате валидации моделей для дальнейших расчетов была выбрана модель с меньшими отклонениями от эксперимента.

На следующем этапе было определено как толщина мертвого слоя, и соответственно, объем кристалла, влияет на эффективность регистрации излучения. Поэтому для определения эффективной толщины мертвого слоя в геометрию кристалла модели детектора был добавлен дополнительный слой германия (мертвый слой), структурно не отличающийся от основного материала кристалла, но влияющий на эффективность регистрации. Изменение толщины мертвого слоя с любой стороны кристалла на 0,2 мм меняло эффективность регистрации примерно на $4 \cdot 10^{-5}$ отн.ед. В ходе расчетов было получено, что и для верхнего, и для бокового мертвых слоев эффективная толщина составила 0,7 мм. При этом чувствительный объем кристалла для GC1518 составил $61,69 \text{ см}^3$.

Далее были рассчитаны коэффициенты поправки на самопоглощение гамма-квантов для образцов теллов сложной геометрии, отличающихся поворотами вокруг своей оси и содержанием урана. Различие поправочных коэффициентов самопоглощения для модели с максимальным и минимальным самопоглощением составляет в среднем 0,58 % при одинаковом содержании урана и увеличивается по мере его дальнейшего роста.

В результате проведенной работы построенная расчетная модель, повторяющая параметры реального гамма-спектрометра, позволяет с точностью ~ 3 % определять отклик детектора, следовательно, ее можно использовать при проведении экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коаксиальные германиевые детекторы с реверсивными электродами (REGe) // Canberra. Radiation Safety. Amplified. [Электронный ресурс].– режим доступа : <http://www.canberra.ru>.
2. Алейников Ю.В., Попов Ю.А., Прозорова И.В. Моделирование полупроводникового детектора из особо чистого германия // Тезисы XI международной конференции «Ядерная и радиационная физика.– Алматы, РГП ИЯФ, 2017.– с. 278.
3. Briesmeister, J.F., Forster, R.A., Cox, L.J. at el. MCNPTM Version // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms Vol. 213, 2004, pp. 82-86.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КЕРАМИЧЕСКОГО ДИСПЕРСИОННОГО ТОПЛИВА В РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ ПОКОЛЕНИЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Зорькин А.И., Кузнецова М.Е., Украинец О.А.

Научный руководитель: Беденко С.В., к.ф.н., профессор

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

E-mail: aiz4@tpu.ru

В настоящее время большое внимание уделяется поиску новых видов топливных композиций для атомных станций малой мощности и развития технологий его изготовления [1-3]. К инновационным можно отнести направление, связанное с использованием топлива дисперсионного типа таких керамических соединений как: $(Th,Pu)O_2$, $(Th,Pu)C$, $(Th,Pu)N$.

Актуальность смешанного торий-плутониевого топлива заключается в высокой эффективности использования ядерного материала и высокого воспроизводства вторичного ядерного горючего [1-2]. В результате кампания одной топливной загрузки значительно увеличивается.

В данной работе приведены результаты нейтронно-физических исследований керамического дисперсионного ядерного топлива при длительном режиме эксплуатации (Рис. 1). Установлено, что использование $(Th,Pu)C$ -топлива позволит повысить выгорание тяжелого металла на 5 %, снизить накопление продуктов деления и CO , повысить ресурс эксплуатации топлива.

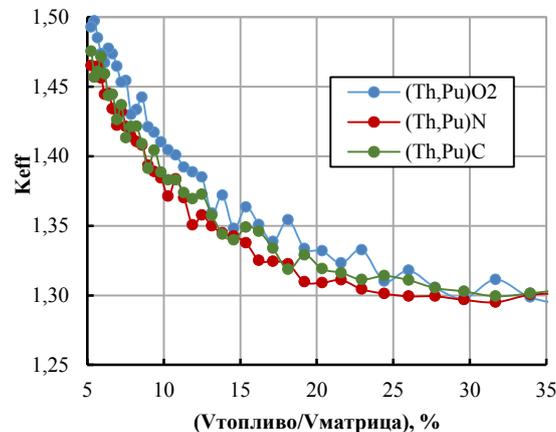


Рис. 1. Зависимость $K_{eff}(\omega_f)$

Расчеты проведены в программном комплексе MCU5TPU и WIMS-D5B с использованием оценённых баз ядерных данных (ENDF, JEF, JENDL и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kiryushin A. I., Kodochigov N. G., Kuzavkov N. G. Project of the GMMHR high-temperature helium reactor with gas turbine // Nuclear Engineering and Design. – 1997. №2 – p. 119-129.
2. Ponomarev-Stepnoy N. N., Abrosimov N. G., Vasyaev A. V. et al. Similarity of high-temperature gas-cooled reactor technologies and designs in Russia and USA // Atomic Energy. – 2010. №2 – p. 89-96.
3. Ponomarev-Stepnoy N., Kodochigov N., Sukharev Yu. et al. Neutronic Features of the GT-MHR Reactor // Nuclear Engineering and Design. – 2003. №5 – p. 161-171.
4. Shamanin I., Bedenko S., Chertkov Y., Gubaydulin I. Gas-Cooled Thorium Reactor with Fuel Block of the Unified Design // Advances in Materials Science and Engineering – 2015. – p. 1-8.
5. Shamanin I. V., Grachev V. M., Chertkov Y. B., Bedenko S. V., Mendoza Quiroz O. -, Knyshev V. V. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel // Annals of Nuclear Energy. - 2018 - Vol. 113. - p. 286-293.
6. Bedenko S., Shamanin I., Grachev V., Knyshev V., Ukrainets O., Zorkin A. // Neutron radiation characteristics of the IVth generation reactor spent fuel AIP Conference Proceedings Volume 1938 – 2018. – p. 1-11.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА, ГОРЯЩЕГО В СМЕСИ АТОМАРНОГО И МОЛЕКУЛЯРНОГО ГАЗА

Мюсова А.Е., Луценко Ю.Ю.

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

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

E-mail: luts@mail.ru

Использование высокочастотного факельного разряда в процессах плазменной переработки веществ подразумевает его горение в различных газовых средах, как молекулярных, так и атомарных. В молекулярных средах плазма факельного разряда близка к термодинамическому равновесию. При этом её газовая температура близка к температуре электронов. В случае же горения высокочастотного факельного разряда в атомарных газах наблюдается существенный отрыв электронной температуры от газовой. В тоже время установлено, что при незначительном добавлении в атомарный газ молекулярной компоненты существенно возрастает [1] величина газовой температуры разряда.

В настоящей работе рассмотрено влияние соотношения молекулярной и атомарной компоненты плазмообразующего газа на величину разрыва между электронной и газовой температурами плазмы разряда. В качестве молекулярного газа использовался воздух, а в качестве атомарного газа – аргон.

Исследовался факельный разряд мощностью около 1 кВт. Разряд возбуждался в кварцевой трубке диаметром 28 мм на частоте 37 МГц. Измерения газовой и электронной температур проводились на расстоянии 70 мм от электрода. Заметим, что температура факельного разряда незначительно меняется [2] вдоль его оси. Поэтому измерения проведённые для одной точки разряда будут характеризовать плазму разряда в целом. Излучение от исследуемого объёма разряда посредством линзы проецировалось на щель спектрографа MSDD 1000.

Измерение газовой температуры проводилось по относительной интенсивности вращательных переходов молекулярной полосы гидроксила 3064 Å. Использовались линии колебательной ветви Q₁. Выбирались линии свободные от наложения других линий – Q₁₄, Q₁₆, Q₁₉, Q₁₁₀. Для того чтобы отсечь излучение от других частей разряда использовалась диафрагма шириной 5 мм.

Измерения электронной температуры факельного разряда проводились двумя способами. Первый способ заключался в использовании метода Орнштейна. Измерения этим методом проводились на основе анализа относительной интенсивности линий меди. Пары меди попадали в плазму разряда за счёт испарения материала поверхности медного водоохлаждаемого электрода. Использовались линии меди 5106Å, 5153Å и 5218Å. Энергии и относительные вероятности переходов, соответствующих данным линиям были взяты из работы [3]. Второй способ измерения электронной температуры основывался на анализе частотной зависимости интенсивности континуума атомов аргона в диапазоне длин волн от 3300Å до 4000Å. В нашем случае континуум атомов аргона в вышеуказанном диапазоне длин волн искажался наложением полосы молекулы CN 3883 Å. Поэтому точность измерений по данной методике была ниже, чем в случае использования метода Орнштейна. Достоверность полученных результатов оценивалась на основе сравнения результатов, полученных при использовании разных методик.

Посредством проведённых измерений было установлено, что при увеличении доли молекулярного газа в атомарном газе электронная температура уменьшается. Тем самым, разрыв между электронной и газовой температурами уменьшается и плазма разряда становится более равновесной. Величина отношения электронной температуры к газовой температуре при добавлении в аргон воздуха в концентрации менее 30% находится в пределах $T_e/T \sim 2,7...3,2$. Следовательно, изменение разрыва между электронной и газовой температурами не превышает 20 %.

Таким образом, введение молекулярного газа в атомарный газ не оказывает столь значительного влияния на характеристики разрядной плазмы, как это предполагалось [1] ранее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров И.А., Тихомиров В.В., Шишковский В.И. О функции распределения электронов по энергиям в ВЧ факельном разряде // Известия Вузов. Физика. – 1974. - №4. – с.462-464.
2. Луценко Ю.Ю., Власов В.А., Зеленецкая Е.П. Влияние осевой неоднородности плазмы высокочастотного факельного разряда на его электродинамические характеристики // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. - №1. – с.117 – 122.
3. Hess H., Kloss H.-G., Rademacher K., Seliger K. Vergleich zwischen einem Verfahren zur Bestimmung von Bogentemperaturen mit Hilfe von Stoßwellen und einer spektroskopischen Methode // Beiträge aus der Plasmaphysik. – 1962. – Bd. 2. – № 3. – S. 171 – 178.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПРОЦЕССАХ ПЛАЗМЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВЕЩЕСТВ

Мюсова А.Е., Луценко Ю.Ю.

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

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

E-mail: luts@mail.ru

В настоящее время в процессах плазменной переработки веществ широко используется [1] высокочастотный факельный разряд. Факельный разряд имеет ряд преимуществ по сравнению с другими высокочастотными разрядами. Он легко возбуждается в любых средах, включая водород, устойчив к запылению, имеет большой объём разрядной плазмы при относительно малой мощности. Как правило, факельный разряд в процессах плазменной переработки веществ используется в качестве генератора плазменной струи. Однако более целесообразно проводить переработку веществ непосредственно в плазме разряда. В этом случае эффективность процессов переработки существенно возрастает.

В настоящей работе проведено определение комплексного сопротивления факельного разряда, запылённого проводящими и диэлектрическими материалами. Исследуемый разряд возбуждался в воздухе при атмосферном давлении на частоте 37 МГц. Мощность разряда варьировалась от 0,5 до 3 кВт. Дисперсность порошка запыляющего разряд материала составляла 30...60 мкм. Измерения комплексного сопротивления разряда проводились резонансным методом. Схема измерительной цепи была аналогична схеме, используемой в работе [2]. На основе полученных экспериментальных результатов проведён расчёт фазового сдвига между разрядным током и напряжением на высоковольтном электроде.

В результате проведённых измерений было установлено, что при запылении разряда проводящим материалом его активное сопротивление возрастает на 15...20%. Ёмкость разряда меняется незначительно как в случае запыления разряда проводящим материалом, так и в случае запыления разряда диэлектриком. Величина косинуса фазового сдвига между током, протекающим в разряде и напряжением на электроде, при запылении разряда проводящим материалом составляет 0,7...0,8. С увеличением мощности разряда величина его активного сопротивления возрастает. Этот эффект наиболее выражен в случае запыления разряда проводящим материалом. На рис.1. приведены результаты измерения косинуса фазового сдвига между током и напряжением для факельного разряда мощностью 1 кВт при различных степенях его запылённости. Установлено, что наибольший косинус фазового сдвига между током и напряжением разряда реализуется при степени его запыления $\nu=6 \cdot 10^{-6}$.

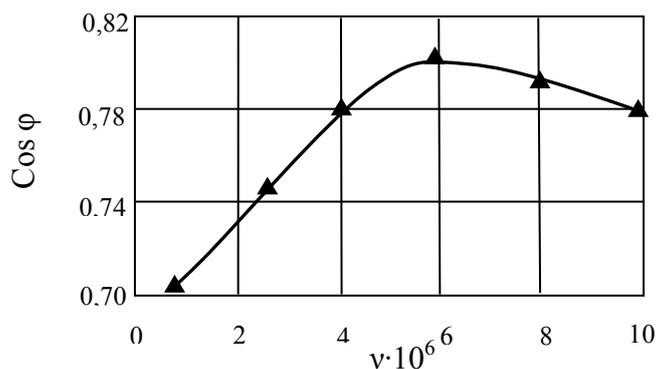


Рис.1. Зависимость косинуса фазового сдвига между током и напряжением факельного разряда от степени его запыления никелем

Вышеуказанная степень запылённости может быть рекомендована в качестве оптимальной величины при плазменной переработке веществ непосредственно в плазме факельного разряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каренгин А.Г. Плазмокаталитический реактор для утилизации нефтяных отходов // Известия вузов. Физика - 2004. - т. 47 -№ 12 (Приложение) -с. 52-55.
2. Talský A. Определение комплексного сопротивления высокочастотного факельного разряда. // Czech. J. Phys. – 1964. - Bd.14, №8. – p. 594-598.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «UO₂-BeO» ИЗ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ

Зубов В.В.

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. И.В. Шаманин
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kaberne1812@yandex.ru

Одним из перспективных направлений дальнейшего развития атомной энергетики является использование дисперсионного ЯТ, в котором ядерные материалы в виде оксидных композиций размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности [1]. Однако использование в качестве матрицы порошков металлов (алюминия, молибдена, вольфрама и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к ухудшению нейтронного баланса дисперсионного ЯТ из-за резонансного поглощения нейтронов.

Предлагается совместный плазмохимический синтез оксидных композиций, включающих диоксид урана и матрицу из оксида бериллия (магния), имеющего высокий коэффициент теплопроводности и низкое резонансное поглощение нейтронов, из водно-органических нитратных растворов (ВОНР) на основе смешанных водных нитратных растворов и органического компонента (спирты, кетоны). Это обеспечит прямой плазмохимический синтез в воздушной плазме оксидных композиций «UO₂-BeO» с однородным распределением фаз и требуемым стехиометрическим составом без дополнительного водородного восстановления, а также и существенное снижение энергозатрат на их получение.

Для определения оптимальных режимов процесса плазмохимического синтеза ВОНР были проведены расчеты равновесных составов газообразных и твердофазных продуктов. Для расчётов использовалась лицензионная программа «TERRA».

На рисунке 1 представлен характерный равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе этанола (27,3 % H₂O – 34,0 % C₂H₆O – 23,9 % UO₂(NO₃)₂·6H₂O – 14,8 % Be(NO₃)₂·4H₂O) при массовой доле воздуха 70 %, обеспечивающего в воздушной плазме прямой плазмохимический синтез оксидной композиции следующего состава: (90 % UO₂-10 % BeO).

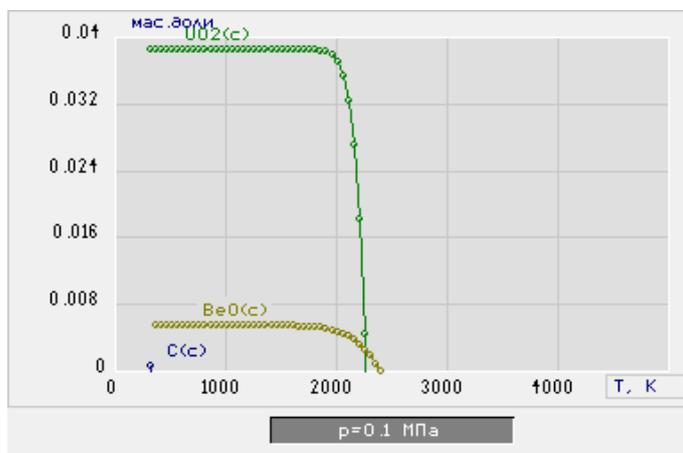


Рис. 1. Влияние температуры на равновесный состав основных твердофазных продуктов переработки ВОНР в воздушной плазме: (40% ВОНР – 60% Воздух)

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке энергоэффективной технологии прямого плазмохимического синтеза различных по составу оксидных композиций «UO₂-BeO» для дисперсионного ядерного топлива.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВ ОКСИДОВ РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В УСЛОВИЯХ ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА

Головков Н.И., Алюков Е.С.

Научный руководитель: Новоселов И.Ю.

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

E-mail: golniigo@gmail.com

Одним из приоритетных направлений развития современного материаловедения являются технологии на основе наноразмерных порошков [1]. В частности, оксид иттрия (Y_2O_3) имеет широкий спектр применения: высокотемпературная керамика из него используется в агрессивных средах (поршни двигателей, детали турбин) благодаря своей химической стойкости; прозрачная керамика из данного материала обладает высоким светопропусканием в видимой и ИК-области спектра, высокими температурой плавления и термостойкостью, хорошими электрофизическими свойствами. Диоксид циркония (ZrO_2) – высокотехнологичный материал, использующийся для получения высокоогнеупорных изделий, жаростойких эмалей, тугоплавких стекол, различных видов керамики, пигментов, твердых электролитов, катализаторов, в создании теплозащитных экранов космических аппаратов, в эндопротезировании и стоматологии, для изготовления режущих инструментов т.д.

Наиболее распространенными технологиями получения наноразмерных оксидов являются лазерная сублимация, химическое осаждение, гидротермальный метод и золь-гель технология, к недостаткам которых следует отнести: многостадийность, высокую продолжительность процессов, низкую производительность, необходимость использования большого количества химических реагентов, неоднородное распределение фаз в порошках, высокую себестоимость. В то же время, для получения оксидных нанопорошков перспективным является плазмохимический синтез из водных нитратных растворов (ВНР) с преимуществами: одностадийность, высокая скорость процесса, гомогенное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, компактность технологического оборудования. Однако плазменная обработка только ВНР из-за высоких энергозатрат (до 4,0 кВт·ч/кг) не находит широкого применения, а существенно снизить энергозатраты и повысить производительность возможно путем введения органического компонента в состав ВНР для образования водно-органического нитратного раствора (ВОНР).

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны азотнокислые соли иттрия и циркония: нитрат иттрия ($Y(NO_3)_3$) и нитрат цирконила ($ZrO(NO_3)_2$). На первом этапе готовились водные растворы солей с добавлением органического компонента – этилового спирта (C_2H_5OH). На втором этапе производилось диспергирование ВОНР в плазмохимический реактор, где они подвергались обработке в воздушной плазме высокочастотного факельного разряда. Синтезированные в плазме порошки собирались для проведения анализа их основных физико-химических свойств: площади удельной поверхности, размера частиц и фазового состава.

Для определения площади удельной поверхности порошков проводился БЭТ-анализ, который показал, что величина площади удельной поверхности для порошка Y_2O_3 составляет ≈ 30 м²/г, для порошка $ZrO_2 \approx 13$ м²/г.

Анализ морфологии и размера частиц исследовались методами сканирующей (СЭМ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Анализы показали, что частицы порошков имеют овальную форму, СЭМ показала агломерированность порошков обоих оксидов. Наибольшее количество частиц по данным ПЭМ лежит в интервале 40–50 нм для Y_2O_3 и в интервале 60–70 нм для ZrO_2 .

Фазовый состав определялся рентгено-фазовым анализом (РФА). Результаты РФА показали, что Y_2O_3 в пробе находится в кубической фазе, в то время как ZrO_2 в тетрагональной и кубической фазах, незначительные примеси объясняются технологическими аспектами плазмохимического синтеза.

Результаты анализов подтверждают, что полученные порошки оксидов иттрия и циркония можно отнести к классу нанодисперсных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алымов, М. И. Механические свойства нанокристаллических материалов. – М.: МИФИ, 2004. – 32 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТИПОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Алюков Е.С., Новоселов И.Ю.

Научный руководитель: Новоселов И.Ю.

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

E-mail: john.judo@mail.ru

Одним из перспективных направлений дальнейшего развития атомной энергетики является использование дисперсионного ядерного топлива (ДЯТ), в котором включения из делящихся материалов (уран, торий, плутоний) в виде гранулированных оксидных композиций (микросфер) размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности. Однако применение матрицы из порошков металлов (алюминия, молибдена, вольфрама и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к ухудшению нейтронного баланса из-за высокого резонансного поглощения нейтронов. К тому же применение внешнего гелеобразования (золь-гель процесса) для получения микросфер из смесевых водных нитратных растворов сопряжено с рядом недостатков: многостадийность; продолжительность; низкая производительность; необходимость использования большого количества химических реагентов и др. [1].

В работе был проведен расчет процесса прямого плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций (оксиды делящихся материалов и матрица из тугоплавких оксидов металлов, имеющих высокий коэффициент теплопроводности и низкое резонансное поглощение нейтронов) из диспергированных горючих водно-органических нитратных растворов (ВОНР).

В качестве исходного сырья были использованы нитратные соли урана, тория и плутония ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$, $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$, $\text{PuO}_2(\text{NO}_3)_4$), а в качестве матрицы – нитраты бериллия и магния ($\text{Be}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$).

В работе проводились теплотехнических расчеты для установления закономерности влияния массового соотношения органический компонент–смесевой водный нитратный раствор на показатели горючести ВОНР. В расчетах определялись составы ВОНР, имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и адиабатическую температуру горения не менее 1200 °С, которые обеспечат существенное снижение удельных энергозатрат на их плазменную обработку (до 0,1 МВт·ч/т).

Также проводились расчеты закономерностей влияния объемного соотношения матрица–включение на коэффициент теплопроводности λ сложных оксидных композиций с использованием различных математических моделей. Для расчета λ композиционного материала использовалась элементарная ячейка. Коэффициент теплопроводности элементарной ячейки зависит от коэффициента теплопроводности λ_1 материала матрицы (BeO , MgO) и коэффициента теплопроводности λ_2 материала включения (UO_2 , PuO_2 , ThO_2). Для эффективного отвода тепла от включения необходимо выполнения условия $\lambda_1 > \lambda_2$.

В результате проведенных расчетов определены оптимальные по составу ВОНР на основе этанола и ацетона, а также же режимы их плазменной обработки (массовое отношение фаз, температура), обеспечивающие прямой плазмохимический синтез сложных оксидных композиций в воздушной плазме. Расчеты коэффициентов теплопроводности этих композиций с использованием ряда моделей показали, что модель с замкнутыми включениями Оделевского наиболее точно описывает экспериментальные данные для коэффициента теплопроводности λ композиционного материала. По результатам всего комплекса исследований были рекомендованы составы для ДЯТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алюков Е.С., Новоселов И.Ю. Плазмохимический синтез наноразмерных порошков оксидов иттрия и циркония из водных нитратных растворов с добавлением органического компонента // Химия и химическая технология в XXI веке // Материалы XIX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых. Томский политехнический университет. 2018. С. 41-42.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ В ПОТОКЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

Шеховцов В.В.

Научный руководитель: Волокитин О.Г., д.т.н., доцент

Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2

E-mail: shehovcov2010@yandex.ru

Рассматривая процесс нагрева и плавления оксидных систем, стоит начать с анализа цепочки фазовых переходов и изменения теплофизических свойств конденсированной фазы в процессе нагрева. Обычно при постановке математических задач используется допущение о «равномерном по объему частицы» или «безградиентном» нагреве, однако при рассмотрении частиц оксидных материалов с низкой теплопроводностью, тем более пористых, оно является необоснованным. Для сферических частиц в условиях конвективного теплообмена с газовым потоком такое предположение оправдано при значениях числа Био $Bi \sim \lambda_{\text{газа}}/\lambda_{\text{частицы}} \ll 1$ [1-3]. В таком случае нет необходимости в каждый момент времени вычислять распределение температуры по объему капли, решая уравнение теплопроводности, а можно использовать среднемассовую температуру частицы. Однако, для керамической частицы число Био $Bi \sim 1$, что приводит к более высокой температуре поверхности и снижению теплового потока со стороны газа.

В работе [4] предложена модель, позволяющая путем проведения параметрических расчетов выбрать геометрические и режимные параметры электроплазменной установки, обеспечивающие требуемую динамику нагрева и плавления частиц.

Примем допущение, что при достижении температуры фазового перехода параметры λ_p , ρ_p и c_p меняются скачком и находятся постоянными в области устойчивости данной модификации. В качестве максимальной величины теплоты плавления SiO_2 примем $Q_{\text{melt}}=186.6$ кДж/кг, данное значение является суммой теплоты плавления кристаллической модификации вблизи тройной точки и суммы теплот фазовых переходов при изменении модификаций кристаллической структуры по мере повышения температуры в диапазоне 390÷1993 К. На рисунке 1 представлена динамика нагрева и плавления частиц диоксида кремния без учета и с учетом фазовых переходов.

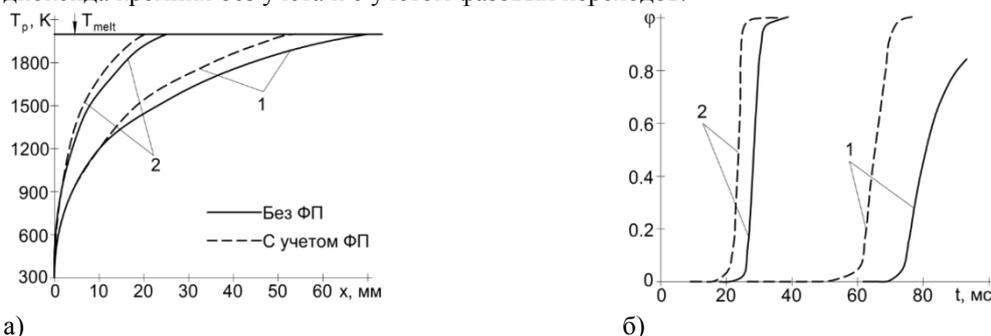


Рис. 1. Динамика нагрева и плавления частиц диоксида кремния диаметром 300 мкм: зависимость температура частицы (а) и образования расплавленной массы (б) от пройденного пути; 1 – без пористая частица; 2 – частицы пористостью 0.4. ФП – фазовый переход.

Как видно из рисунка основной нагрев частиц осуществляется на расстоянии 20 мм от выходного сечения сопла плазматрона, данный участок плазменной струи представлен виде ядра, где температура и скорость воздушно-плазменной струи слабо изменяется. Однако из рисунка 1, б видно, что не учет фазовых переходов приводит к занижению численных показателей формирования расплавленной массы частицы, таким образом можно говорить, что не учет фазовых переходов может приводить к неоправданному перегреву частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Solonenko O.P., Gulyaev I.P., Smirnov A.V. Thermal plasma processes for production of hollow spherical powders: theory and experiment // Journal of Thermal Science and Technology. 2011. Vol. 6, № 2. P. 219-234.
2. Pfender E., Lee Y.C. Particle dynamics and particle heat and mass transfer in thermal plasmas. Part I. The motion of a single particle without thermal effects // Plasma Chemistry and Plasma Processing. 1985. Vol. 5, No 3. – P. 211-237.
3. Wang M., Pan N. Predictions of effective physical properties of complex multiphase materials // Materials Science and Engineering R. 2008. Vol. 63. – P. 1-30.
4. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Аньшаков А.С., Кузьмин В.И. Влияние термической плазмы на образование керамических микросфер. Часть 1. Характер нагрева и испарения / Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 5 (64). С. 143-150.

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОПОРОШКОВ

Космачев П.В.^{1,2}

Научный руководитель: Власов В.А.^{1,2}, д.ф.-м.н., профессор

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Россия, г. Томск,
пл. Соляная, 2,

²Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30,
E-mail: kosmachev@tsuab.ru

На сегодняшний день одной из актуальных задач ядерно-топливного цикла является иммобилизация жидких радиоактивных отходов различного химического состава и активности [1]. Разрабатываются технологии их безопасного и долговременного хранения, среди которых изучается возможность использования наноразмерных материалов для формирования керамической матрицы, содержащей радионуклиды. В качестве такой матрицы может быть использован, например, нанопорошок SiO₂ [2]. В связи с этим востребованы новые методы его получения.

Целью работы являлось выявление технологических особенностей процесса получения нанопорошков оксидов с использованием энергии термической плазмы электродугового разряда и исследование характеристик получаемых продуктов.

В работе представлен способ получения нанопорошков оксидов (на примере оксида кремния), реализованный с использованием экспериментальной плазменно-дуговой установки, разработанной на кафедре прикладной механики и материаловедения Томского государственного архитектурно-строительного университета [3]. Принцип работы установки основан на физических процессах плавления и испарения сырьевых материалов с последующей конденсацией целевого нанопорошка из газовой фазы.

В качестве сырья для получения наночастиц SiO₂ могут использоваться доступные высококремнеземистые материалы природного происхождения из российских месторождений: кварцит Чупинского месторождения в республике Карелия, обогащенный кварцевый песок Туганского месторождения в Томской области, диатомит Камышловского месторождения в Свердловской области.

ПЭМ-изображение образца получаемого нанопорошка диоксида кремния и диаграмма распределения частиц по размерам представлены на рисунке 1.

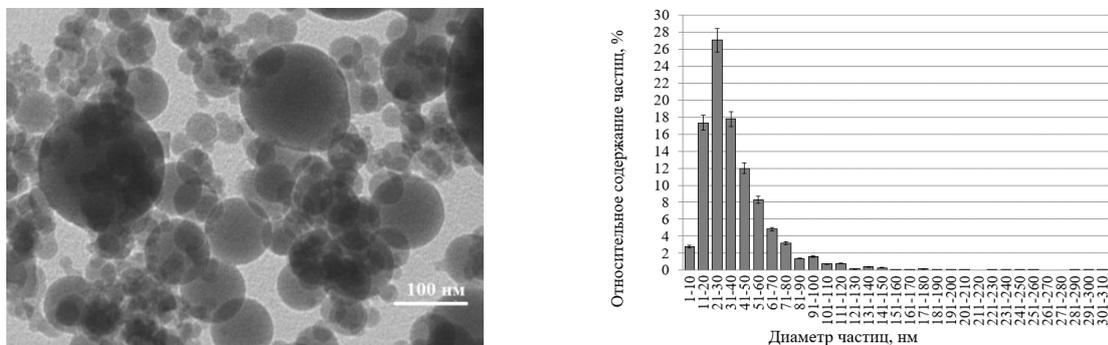


Рисунок 1 ПЭМ-изображение образца полученного нанопорошка диоксида кремния

Проведенные исследования показали, что получаемые плазменно-дуговым методом наночастицы подвержены сильной агломерации, имеют сферическую форму, с размерами в диапазоне от 10 до 300 нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новоселов И.Ю., Шаманин И.В., Каренгин А.Г., Каренгин А.А. Комплексная утилизация горючих отходов переработки ОЯТ в воздушной плазме // Изв. вузов. Физика. – 2015. – Т. 58. № 2-2. – С. 201-206.
2. Федорова С. А., Гавриш В. М., Гавриш О. П. Использование нанопорошка оксида кремния в качестве керамической матрицы для иммобилизации жидких радиоактивных отходов атомных станций с ВВЭР // Энергетические установки и технологии. – 2017. – Т. 3. № 4. – С. 98-111.
3. Патент № 69047 U1 Российская Федерация МПК C03B 37/00, C 03B 5/16, Плазменная установка для переработки тугоплавких силикатсодержащих материалов, Власов В.А., Космачев П.В., Скрипникова Н.К., Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В., Есенов Н.С. Оpubл. 02.03.2017 Бюл. №7.
4. Космачев П.В., Власов В.А., Скрипникова Н.К. Исследование структуры и свойств нанопорошка SiO₂, полученного плазменным методом из природных высококремнеземистых сырьевых материалов // Изв. вузов. Физика. – 2017. – Т. 60. № 2. – С. 46-50.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВСКРЫТИЯ РУД ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИСКРОВОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА

Сосновский С.А.¹, Тюрин С.В.², Головков Н.И.⁴

Научный руководитель: Казарян М.А. - д.ф.-м.н., профессор, академик РАН³

¹-Сибирский физико-технический институт Томского государственного университета;

²-ООО НПК "Авиор", Россия, г. Томск;

³-ФИАН, Россия, г. Москва;

⁴-Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ssa777@mail.ru

Извлечение редких, цветных и благородных металлов из руды производится гидрометаллургическим методом, то есть с использованием водных растворов химических реагентов. Использование традиционных методов активации связано с высокими эксплуатационными и капитальными затратами, поэтому значительные усилия разработчиков направлены на создание новых без реагентных методов повышения эффективности и скорости гидрометаллургических процессов. Одним из высокоэффективных видов обработки жидких сред является электрический разряд в двухфазной среде "газ - жидкость", горящий над поверхностью обрабатываемой жидкости. Целью настоящей работы являлась разработка физико-химических, электрофизических и электротехнических основ жидкофазного процесса вскрытия руд при воздействии поверхностного высоковольтного искрового импульсного (ПВИИ) разряда. Сущность способа плазмохимической переработки раствора в режиме агитационного выщелачивания заключается в том что, газодынная смесь частичек руды в реакторе смешивается с активной газовой средой, которая создаётся потоком плазмы ПВИИ разряда. Проведён термодинамический расчёт плазмы ПВИИ разряда при различных давлениях [1]. Термодинамический расчёт плазмы в условиях атмосферного состава газов показал, что процесс наработки атомарного азота с достаточной интенсивностью и наиболее оптимально протекает в области температур 5000 - 8000 К в канале разряда и атмосферном давлении. Основными окислителями двухвалентного железа в растворе являются оксид азота NO₂ и азотистая кислота HNO₂, образующаяся при растворении NO₂ в воде. Так в процессах выщелачивания урансодержащей руды, с применением серной кислоты, образуется четырехвалентный уран, который является нерастворимой формой, и для его извлечения требуется применение окислителя, в качестве которого выступает сопутствующее ему железо. При накоплении в растворе ионов двухвалентного железа процесс замедляется. Регенерация железа в трёхвалентное состояние является экономически мотивированным процессом и актуальным.

Создана установка агитационного выщелачивания в условиях поверхностного высоковольтного искрового импульсного разряда, которая состоит из блока управления механической мешалкой, заземлённого экрана, электрического двигателя, стакана- реактора, заземлённого электрода, в виде круглой пластины из нержавеющей стали, лежащей на дне реактора, медного катода с вольфрамовым наконечником, механической мешалки, высоковольтного изолятора, высоковольтного блока, низковольтного блока [2].

Собранный магнитоисторный генератор высоковольтного импульсного напряжения, имеет следующие электрические и выходные параметры: входное напряжение 220 В, 50 Гц, выходное напряжение 40 кВ, мощность 300 Вт, частота следования импульсов 1 кГц, длительность импульсов на полувысоте 200 нс, длительность импульсов по основанию 300 нс, время нарастания переднего фронта импульса 100 нс, форма импульсов- колокол. лабораторной установки имеющей следующие параметры: число оборотов - 700 об/мин, объём перерабатываемого раствора 400 мл, время обработки - 12 мин, начальная температура раствора 18-20°C, расстояние от катода до поверхности раствора 10 мм.

Проведенные эксперименты показали, что процесс перевода двухвалентного железа в трёхвалентное, при работе установки с модельным жидкостным раствором, достаточно полно проходит в течении 12 минут.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект №10.3031.2017/4.6 и при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Buinovskii A.S., Obkhodskaya E.V., Sachkov V.I., Sosnovskii S.A. THERMODYNAMIC MODELING OF PLASMOCHEMICAL PROCESS OF SYNTHESIS OF DISPERSED METAL OXIDES // Russian Physics Journal - 2013 - vol. 56 - iss. 8. - pp. 973-974.
2. Li Hongda, Lukanin A.A., Tskhe A.A., Sosnovskiy S.A. [MULTIFUNCTIONAL GENERATOR OF HIGH-VOLTAGE MICROSECOND PULSES](#) // [Journal of Electrostatics](#) - 2017 - vol. 90. - pp. 74-78.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «UO₂-MgO» ДЛЯ ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Бабаев Р.Г.

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

Применяемое в реакторах на тепловых нейтронах керамическое ядерное топливо из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, имеет ряд существенных недостатков: низкая теплопроводность, высокая хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования, ограниченный ресурс изотопа уран-235.

Дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ), содержащее делящийся материал из диоксида урана и матрицу из оксида металла с высокой теплопроводностью и низким поглощением нейтронов, отличается отсутствием прямых контактов между частицами делящегося материала [1]. Однако традиционные технологии раздельного получения оксидных композиций из нитратных растворов многостадийны, требуют химических реагентов и имеют высокую стоимость.

Перспективным является прямой плазмохимический синтез композиций, включающих диоксид урана и матрицу из оксида магния, имеющего высокий коэффициент теплопроводности и низкое поглощение нейтронов, из смешанных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны и др.).

Это обеспечит прямой плазмохимический синтез в воздушной плазме композиций «UO₂-MgO» с требуемым стехиометрическим составом без дополнительного водородного восстановления, а также и существенное снижение энергозатрат на их получение.

Для определения оптимальных режимов процесса плазмохимического синтеза ВОНР были проведены расчеты равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов. Для расчетов использовалась лицензионная программа «TERRA».

На рисунке 1 представлен характерный равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки ВОНР на основе этанола (28,4 % H₂O – 34,0 % C₂H₆O – 23,6 % UO₂(NO₃)₂·6H₂O – 14,0 % Mg(NO₃)₂·6H₂O) при массовой доле воздуха 72 %, обеспечивающего в воздушной плазме прямой плазмохимический синтез оксидной композиции следующего состава: (90 % UO₂–10 % MgO).

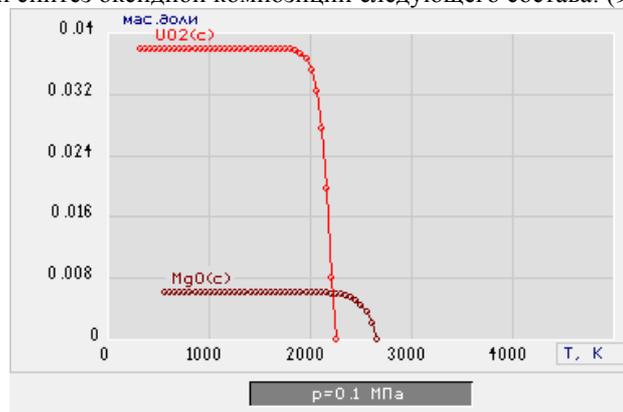


Рис. 1. Влияние температуры на равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки ВОНР в воздушной плазме: (28 % ВОНР – 72 % Воздух)

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке энергоэффективной технологии прямого плазмохимического синтеза различных по составу оксидных композиций «UO₂-MgO» для дисперсионного ядерного топлива.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ИЗ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ

Каренгин А. А.¹, Каренгин А. Г.²

¹АО «Сибирский химический комбинат»,
636039, г. Северск, Томской области, ул. Курчатова, д.1

²Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: karenginaa@tpu.ru

Одним из перспективных направлений дальнейшего развития ядерной энергетики является применение дисперсионного ЯТ, в котором включения в виде сложных оксидных композиций из делящихся материалов (U, Th, Pu) размещают в металлической или оксидной матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности и низкое поглощение нейтронов [1].

Общими недостатками применяемых технологий получения сложных оксидных композиций из смешанных водных нитратных растворов (золь-гель процесс и др.) являются: многостадийность, необходимость использования большого количества химических реагентов, неравномерное распределение фаз и высокая стоимость [2].

К несомненным преимуществам плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны), по сравнению с золь-гель процессом и технологией, основанной на раздельном получении и механическом смешении оксидов металлов, следует отнести: одностадийность, низкие удельные энергозатраты (до 0,1 МВт·ч/т), гомогенное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, компактность технологического оборудования [3].

На рисунке 1 представлена схема процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР.

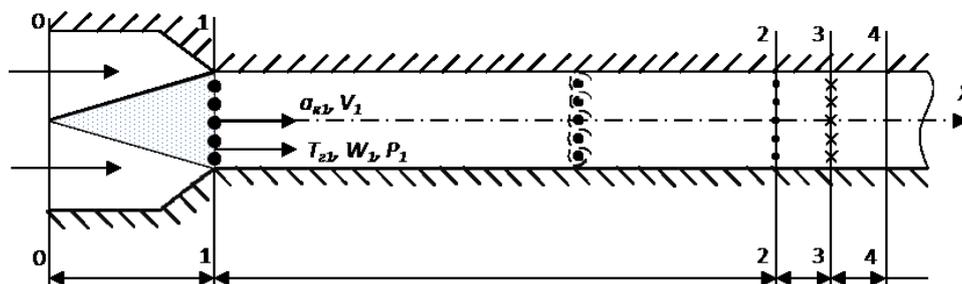


Рисунок 1 – Схема процесса плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций в воздушно-плазменном потоке из диспергированных растворов ВОНР

На основе результатов анализа процессов взаимодействия капель с воздушно-плазменным потоком показано, что при температурах $T \geq 1500$ К лимитирующей стадией всего процесса является стадия (1-2) испарения растворителя.

С учетом этого проведены расчеты и исследовано влияние начальных параметров воздушно-плазменного потока (температура, скорость), каплей (размер, скорость), а также массового отношения фаз на кинетику испарения и каплей и рекомендованы оптимальные режимы проведения исследуемого процесса в реакторе.

Результаты исследований могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций для различных типов дисперсионного ядерного топлива.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. В. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015.–248 с.
2. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: «Физматлит», 2003. – 759 с.
3. 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.

РЕКОНВЕРСИЯ ОБЕДНЕННОГО ГЕКСАФТОРИДА УРАНА ДО ДИОКСИДА В ВОЗДУШНО-МЕТАНОВОЙ ПЛАЗМЕ

Тундешев Н. В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tundeshev93@mail.ru

Одним из ключевых переделов современного ядерного топливного цикла (ЯТЦ) является газоцентрифужное обогащение сырьевого гексафторида урана по изотопу U-235 (ГФУ), что приводит к образованию и накоплению обедненного по изотопу U-235 гексафторида урана (ОГФУ).

ОГФУ является химически активным, биологически и экологически опасным веществом, хранение которого является сложным и затратным процессом, а также приводит к неиспользованию значительного количества фтора для конверсии ГФУ или реализации в виде фторсодержащих соединений [1].

Мировым лидером в области реконверсии ОГФУ является французская компания «Cogema», которой предложена технология, основанная на последовательных процессах гидролиза ОГФУ до уранилфторида и пирогидролиза уранилфторида до закиси-окиси урана.

К серьезным недостаткам этой технологии следует отнести:

- многостадийность;
- высокие энерго- и трудозатраты;
- значительная потребность в химических реагентах (перегретый водяной пар, азот, водород);
- невозможность одностадийного получения безводного фтористого водорода (БФВ);
- применение ректификации для доведения образующегося разбавленного фтористого водорода (~ 74 %) до БФВ требует дополнительных энерго- и трудозатрат.

Ранее была показана возможность и эффективность применения воздушно-водородной плазмы для реконверсии ОГФУ, что дает следующие преимущества (одностадийность и низкие энергозатраты) [2,3]. Однако на применение воздушно-водородных композиций есть ограничения.

В данной работе представлены результаты термодинамического моделирования процесса реконверсии ОГФУ в воздушно-метановой плазме.

Термодинамические расчеты равновесных составов продуктов плазменной реконверсии ОГФУ проведены с использованием лицензионной программы термодинамического расчета состава фаз произвольных гетерогенных систем «TERRA». Расчеты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300-4000 К) и массовых долей воздушного и метанового плазменных теплоносителей (10-90 %).

По результатам расчетов определены оптимальные составы композиций «метан-ОГФУ» и режимы их плазмохимической переработки, обеспечивающие прямую реконверсию ОГФУ до диоксида урана.

Результаты исследований могут быть использованы при создании технологии прямой плазмохимической реконверсии ОГФУ до диоксида урана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 760 с.
2. Алюков Е.С., Тундешев Н.В., Воздушно-плазменная реконверсия гексафторида обедненного урана (научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин) // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 7 т., Томск, 24-27 апреля 2018 года, . – Томск: ТГУ, 2018. – Т. 1. Физика . – С. 42-44.
3. N. Tundeshev, A. Karengin, and I. Shamanin. Optimization of air plasma reconversion of UF₆ to UO₂ based on thermodynamic calculations. AIP Conference Proceedings 1938, 020018 (2018); doi: 10.1063/1.5027225.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «PuO₂–ThO₂–BeO»

Иванов К.С., Новоселов И.Ю.

Научный руководитель: доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vir12@tpu.ru

Для России является приоритетным направлением развития ядерной энергетики создание АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Для их работы перспективным является использование дисперсионного ядерного топлива (ДЯТ) в котором делящиеся материалы (U,Pu,Th) в виде оксидных композиций размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов [1]. При этом раздельное получение таких оксидных композиций из делящихся материалов и использование матрицы из порошков металлов (алюминий, молибден, вольфрам и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к удорожанию получения ДЯТ.

Предлагается прямой плазмохимический синтез композиций, включающих оксиды плутония (урана) и матрицу из оксида бериллия, имеющего высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов, из смешанных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (этанол, ацетон и др.).

В результате проведенных расчетов определены составы ВОНР, имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и обеспечивающих их энергоэффективную переработку. В результате проведенного термодинамического моделирования процесса плазменной переработки растворов ВОНР определены режимы, обеспечивающие прямой плазмохимический синтез в воздушной плазме оксидных композиций «PuO₂–ThO₂–BeO» различного состава. Расчеты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300–4000 К) и массовых долей воздушного теплоносителя (10–90 %).

На рисунке 1 представлен характерный равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе ацетона (26,4 % H₂O–3,6 % HNO₃–25,0 % C₃H₆O–2,7 % PuO₂(NO₃)₂·6H₂O–29,1 % Th(NO₃)₄·6H₂O–13,2 % Be(NO₃)₂·4H₂O) при массовой доле воздуха 61 %, обеспечивающего в воздушной плазме прямой плазмохимический синтез оксидной композиции следующего состава: (18 % PuO₂–72 % ThO₂–10 % MgO).

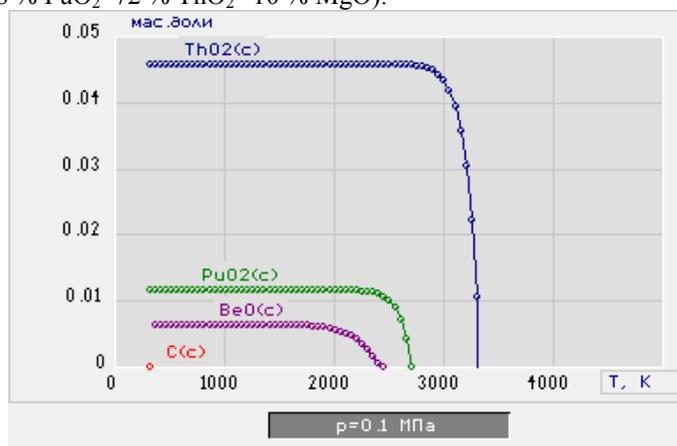


Рис. 1. Влияние температуры на равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки раствора ВОНР в воздушной плазме: (39 % ВОНР–61 % Воздух)

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке энергоэффективной технологии прямого плазмохимического синтеза различных по составу оксидных композиций «PuO₂–ThO₂–BeO» для ДЯТ.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «PuO₂-ThO₂-MgO»

Тихонов А.Е., Бабаев Р.Г.

Научный руководитель: доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vir12@tpu.ru

Для России является приоритетным направлением развития ядерной энергетики создание АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Для их работы перспективным является использование дисперсионного ядерного топлива (ДЯТ) в котором делящиеся материалы (U,Pu,Th) в виде оксидных композиций размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов [1]. При этом раздельное получение таких оксидных композиций из делящихся материалов и использование матрицы из порошков металлов (алюминий, молибден, вольфрам и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к удорожанию получения ДЯТ.

Предлагается прямой плазмохимический синтез композиций, включающих оксиды плутония (урана) и матрицу из оксида бериллия, имеющего высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов, из смешанных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (этанол, ацетон и др.).

В результате проведенных расчетов определены составы ВОНР, имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и обеспечивающих их энергоэффективную переработку. В результате проведенного термодинамического моделирования процесса плазменной переработки растворов ВОНР определены режимы, обеспечивающие прямой плазмохимический синтез в воздушной плазме оксидных композиций «PuO₂-ThO₂-MgO» различного состава. Расчеты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300-4000 К) и массовых долей воздушного теплоносителя (10-90 %).

На рисунке 1 представлен характерный равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе ацетона (26,4 % H₂O–3,6 % HNO₃–25,0 % C₃H₆O–2,9 % PuO₂(NO₃)₂·6H₂O–31,1 % Th(NO₃)₄·6H₂O–11,0 % Mg(NO₃)₂·6H₂O) при массовой доле воздуха 61 %, обеспечивающего в воздушной плазме прямой плазмохимический синтез оксидной композиции следующего состава: (18 % PuO₂–72 % ThO₂–10 % MgO).

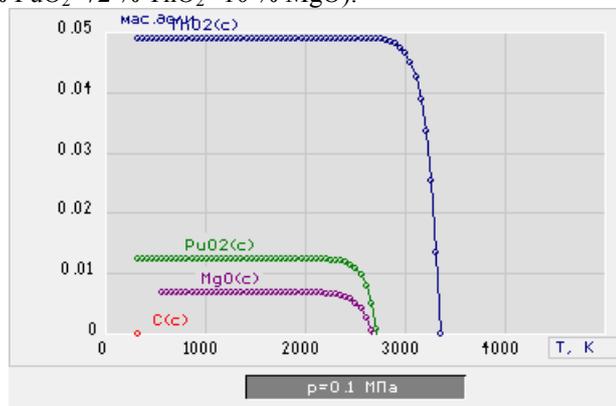


Рис. 1. Влияние температуры на равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки раствора ВОНР в воздушной плазме: (39 % ВОНР – 61 % Воздух)

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке энергоэффективной технологии прямого плазмохимического синтеза различных по составу оксидных композиций «PuO₂-ThO₂-MgO» для ДЯТ.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «PuO₂-UO₂-BeO»

Головков Н.И., Алюков Е.С.

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

В России создание АЭС с реакторами на быстрых нейтронах является приоритетным направлением развития ядерной энергетики. Для их работы перспективным является использование дисперсионного ядерного топлива (ДЯТ) в котором делящиеся материалы (U,Pu,Th) в виде оксидных композиций размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов [1]. Однако раздельное получение сложных оксидных композиций из делящихся материалов и использование матрицы из порошков металлов (алюминий, молибден, вольфрам и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к удорожанию получения ДЯТ.

Предлагается прямой плазмохимический синтез композиций, включающих оксиды плутония (урана) и матрицу из оксида бериллия, имеющего высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов, из смешанных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны).

В результате проведенных расчетов определены составы ВОНР, имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и обеспечивающих их энергоэффективную переработку. В результате проведенного термодинамического моделирования процесса плазменной переработки растворов ВОНР определены режимы, обеспечивающие прямой плазмохимический синтез в воздушной плазме оксидных композиций «PuO₂-UO₂-BeO» различного состава. Расчеты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300-4000 К) и массовых долей воздушного теплоносителя (10-90 %).

На рисунке 1 представлен характерный равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе этанола (24,3 % H₂O-3,3 % HNO₃-31,0 % C₂H₆O-2,8 % PuO₂(NO₃)₂·6H₂O - 25,0 % UO₂(NO₃)₂·6H₂O - 13,6 % Be(NO₃)₂·4H₂O) при массовой доле воздуха 67 %, обеспечивающего в воздушной плазме прямой плазмохимический синтез оксидной композиции следующего состава: (18 % PuO₂-72 % UO₂-10 % BeO).

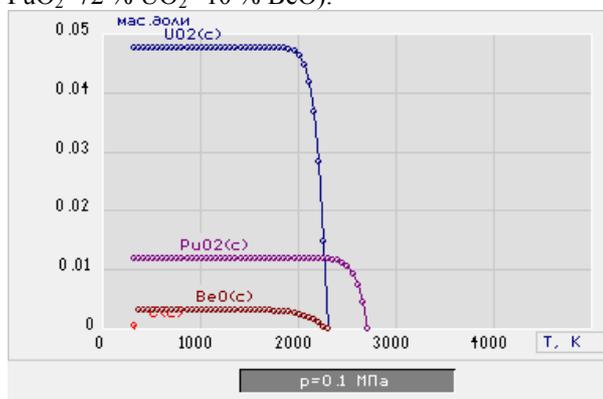


Рис. 1. Влияние температуры на равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки раствора ВОНР в воздушной плазме: (33 % ВОНР – 67 % Воздух)

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке энергоэффективной технологии прямого плазмохимического синтеза различных по составу оксидных композиций «PuO₂-UO₂-BeO» для ДЯТ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ ОТХОДОВ ПОСЛЕ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Кайдаров А.Е., Каренгин А.А.

Научный руководитель: доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aek33@tpu.ru

На Томском подземном водозаборе после подготовки пресной воды ежегодно образуются свыше 3000 т отходов после подготовки воды (ОПВ) в виде суспензий, имеющих следующий состав (%): Fe-30,3; Mn – 4,5; Si – 4,0; Ca – 1,0; H₂O – остальное [1].

Эти отходы содержат ряд металлов и могли бы стать серьезной сырьевой базой для многотоннажного производства дешевых пигментов, а также изготовления на их основе различных красок, окрашенных строительных материалов и изделий, железосодержащих концентратов для производства сталей и сплавов и др. Однако из-за отсутствия энергоэффективных технологий ОВП не нашли широко промышленного применения.

ООО «Сибметакхим» (г. Томск) занимает лидирующие позиции в России по производству метанола (до 800 000 т/год) и получает ежегодно до 3500 т горючих отходов производства метанола (ГОПМ), имеющих следующий состав (%): CH₄O - (50-70); C₂H₆O - (2,6-5,3); C₃H₈O, другие высшие спирты - (2,5-4,7), H₂O – остальное [2]. Эти отходы сжигаются в печах реформинга, что оказывает негативное экологическое воздействие на окружающую среду и приводит к значительным потерям тепловой энергии.

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при совместной обработке ОВП и ГОПМ в воздушно-плазменном потоке в виде оптимальных по составу диспергированных водно-органических суспензий (ВОС) [2].

На основе результатов расчетов показателей горючести композиций «ОВО–ГОПМ» определены оптимальные по составу ВОС, имеющие низшую теплотворную способность ($Q_p^H \geq 8,4$ МДж/кг) и обеспечивающие не только существенное снижение энергозатрат на плазменную обработку ОПВ (с 4,0 до 0,1 МВт·ч/т), но и дополнительное получение тепловой энергии для технологических и бытовых нужд (до 2,0 МВт·ч/т).

В результате термодинамических расчетов процесса плазменной обработки ВОС установлены основные закономерности влияния исходного состава этих композиций и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя на равновесные составы образующихся газообразных и твердых продуктов и определены режимы, обеспечивающие экологически безопасную плазменную обработку ОПВ в воздушной плазме и получение в составе твердых продуктов магнитного оксида железа (Fe₃O₄). Для расчетов использовалась лицензионная программа «TERRA».

С учетом полученных результатов проведены исследования процесса плазменной обработки ОПВ на плазменном стенде «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01» (рабочая частота 13,56 МГц, колебательная мощность до 60 кВт), и экспериментально подтверждена возможность энергоэффективной совместной плазменной обработки ОПВ и ГОПМ в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных ВОС.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии энергоэффективной плазменной обработки ОВО и получения пигментов различного состава и назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисецкий В.Н., Брюханцев В.Н., Андрейченко А.А. Улавливание и утилизация осадков водоподготовки на водозаборах г. Томска. - Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 164 с.
2. 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.

ПЛАЗМЕННАЯ ИММОБИЛИЗАЦИЯ ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАССЕЙНОВ-ХРАНИЛИЩ ЖРО

Шестакова Л.А.

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

За десятилетия работы предприятий ядерного топливного цикла накоплены и размещены в бассейнах-хранилищах жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) в виде иловых отложений (ИЛО), имеющие следующий состав: Fe (3-17%), Si (2,8-8,5%), Ca (0,2-3,2%), Mg (1-2,8%), Na (0,7-1,9%), P (0,1-0,9%) [1].

Для переработки ИЛО используют сорбционные, электрохимические, химические способы переработки, а также различные способы высокотемпературной обработки с получением керамических и стеклоподобных матриц, общим недостатком которых является многостадийность и высокая стоимость [2,3].

Перспективным является прямая плазменная иммобилизация ИЛО в виде ил-органических композиций (ИЛОК), включающих органическую компоненту [4].

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований (Рис. 1) процесса прямой плазменной иммобилизации ИЛО в расплавах хлоридов металлов (NaCl, KCl), стойких к радиационному воздействию. Определены составы ИЛОК и режимы, обеспечивающие в воздушной плазме их энергоэффективную иммобилизацию с получением расплавов требуемого состава.



Рис. 1. Плазменный стенд «Высокочастотный факельный плазмотрон на базе генератора ВЧГ8-60/13» для исследования процесса плазменной иммобилизации ИЛО

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шестакова Л.А. Моделирование и исследование процессов плазменной утилизации и иммобилизации иловых отложений бассейнов-хранилищ ЖРО // IX Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов 17-19 октября 2018 года, г. Томск. – Томск: Дельтаплан, 2018. – С. 50.
2. Дмитриев С.А., Стефановский С.В. Обращение с радиоактивными отходами. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000, с.12-20.
3. Овчаренко Е.Г., Майзель И.Л., Карасев Б.В. Модифицированный вспученный перлит для локализации радионуклидов. Пром. и граждан. Строительство, 1994, №8, с.19-21.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «UO₂-ThO₂-MgO»

Зотов Е.А., Каренгин А.А.

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

Создание АЭС с применением реакторов на быстрых нейтронах (РБН) является приоритетным направлением дальнейшего развития ядерной энергетики. Для их работы перспективным является использование дисперсионного ядерного топлива (ДЯТ) в котором делящиеся материалы (U,Pu) в виде оксидных композиций размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов [1]. Однако раздельное получение оксидов урана и плутония и использование в качестве матрицы порошков металлов (алюминий, молибден, вольфрам и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к резкому удорожанию технологии получения такого топлива. Перспективным является совместный плазмохимический синтез оксидных композиций, включающих делящиеся материалы в виде оксидов урана и плутония, а также матрицу в виде оксида бериллия (магния), имеющего высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов, из смешанных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны и др.).

В результате проведенных расчетов определены составы растворов ВОНР, имеющих низкую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и обеспечивающих их энергоэффективную переработку. Проведены расчеты равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной переработки растворов ВОНР и определены режимы, обеспечивающие прямой плазмохимический синтез в воздушной плазме оксидных композиций «UO₂-ThO₂-MgO» различного состава. Термодинамические расчеты проведены при давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300-4000 К) и массовых долей воздушного теплоносителя (10-90 %). Для расчетов использовалась лицензионная программа термодинамического расчета состава фаз произвольных гетерогенных систем «TERRA».

На рисунке 1 представлен характерный равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе этанола (26,4 % H₂O-34,0 % C₂H₆O-4,8 % UO₂(NO₃)₂·6H₂O-23,0 % ThO₂(NO₃)₄·6H₂O-11,8 % Mg(NO₃)₂·6H₂O) при массовой доле воздуха 71 %, обеспечивающего в воздушной плазме прямой плазмохимический синтез оксидной композиции следующего состава: (18 % UO₂-72 % ThO₂-10 % MgO).

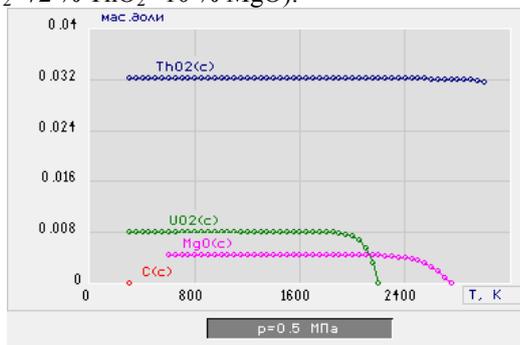


Рис. 1. Влияние температуры на равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки раствора ВОНР в воздушной плазме: (29 % ВОНР-71 % Воздух)

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке энергоэффективной технологии прямого плазмохимического синтеза различных по составу оксидных композиций «UO₂-ThO₂-MgO» для дисперсионного ядерного топлива.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «UO₂-ThO₂-BeO» ИЗ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ

Куркин П.А., Каренгин А.А.

Научный руководитель: доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pak21@tpu.ru

Создание АЭС с реакторами на быстрых нейтронах является приоритетным направлением развития ядерной энергетики. Для их работы перспективным является использование дисперсионного ядерного топлива (ДЯТ) в котором делящиеся материалы (U,Pu,Th) в виде оксидных композиций размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов [1]. Однако раздельное получение сложных оксидных композиций из делящихся материалов и использование матрицы из порошков металлов (алюминий, молибден, вольфрам и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к удорожанию получения ДЯТ.

Предлагается прямой плазмохимический синтез композиций, включающих оксиды урана (тория) и матрицу из оксида бериллия, имеющего высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов, из смешанных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны).

В результате проведенных расчетов определены составы ВОНР, имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и обеспечивающих их энергоэффективную переработку. В результате проведенного термодинамического моделирования процесса плазменной переработки растворов ВОНР определены режимы, обеспечивающие прямой плазмохимический синтез в воздушной плазме оксидных композиций «UO₂-ThO₂-BeO» различного состава. Расчеты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300-4000 К) и массовых долей воздушного теплоносителя (10-90 %).

На рисунке 1 представлен характерный равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе этанола (26,4 % H₂O – 34,0 % C₂H₆O – 4,8 % UO₂(NO₃)₂·6H₂O – 23,0 % ThO₂(NO₃)₄·6H₂O – 11,8 % Be(NO₃)₂·4H₂O) при массовой доле воздуха 70 %, обеспечивающего в воздушной плазме прямой плазмохимический синтез оксидной композиции следующего состава: (18 % UO₂–72 % ThO₂–10 % BeO).

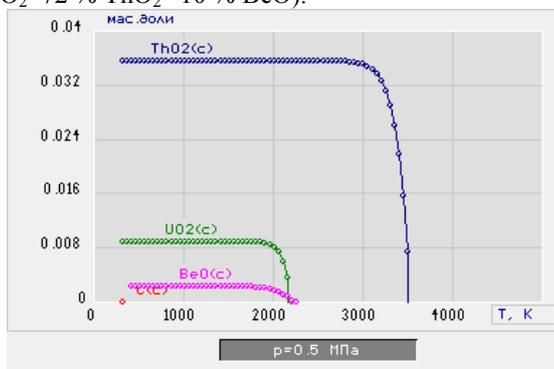


Рис. 1. Влияние температуры на равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки раствора ВОНР в воздушной плазме: (30 % ВОНР – 70 % Воздух)

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке энергоэффективной технологии прямого плазмохимического синтеза различных по составу оксидных композиций «UO₂-ThO₂-BeO» для ДЯТ.

*Работа выполнена при Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «PuO₂-UO₂-MgO»

Расторгуев В.И., Побережников А.Д.

Научный руководитель: доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vir12@tpu.ru

В России является приоритетным направлением развития ядерной энергетики создание АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Для их работы перспективным является использование дисперсионного ядерного топлива (ДЯТ) в котором делящиеся материалы (U,Pu,Th) в виде оксидных композиций размещают в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов [1]. При этом раздельное получение таких сложных оксидных композиций из делящихся материалов и использование матрицы из порошков металлов (алюминий, молибден, вольфрам и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к удорожанию получения ДЯТ.

Предлагается прямой плазмохимический синтез композиций, включающих оксиды плутония (урана) и матрицу из оксида бериллия, имеющего высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов, из смешанных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны).

В результате проведенных расчетов определены составы ВОНР, имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и обеспечивающих их энергоэффективную переработку. В результате проведенного термодинамического моделирования процесса плазменной переработки растворов ВОНР определены режимы, обеспечивающие прямой плазмохимический синтез в воздушной плазме оксидных композиций «PuO₂-UO₂-MgO» различного состава. Расчеты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300-4000 К) и массовых долей воздушного теплоносителя (10-90 %).

На рисунке 1 представлен характерный равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР на основе ацетона (26,4 % H₂O – 3,6 % HNO₃ – 25,0 % C₃H₆O – 3,2 % PuO₂(NO₃)₂·6H₂O – 29,3 % UO₂(NO₃)₂·6H₂O – 12,5 % Mg(NO₃)₂·6H₂O) при массовой доле воздуха 62 %, обеспечивающего в воздушной плазме прямой плазмохимический синтез оксидной композиции следующего состава: (18 % PuO₂-72 % UO₂-10 % MgO).

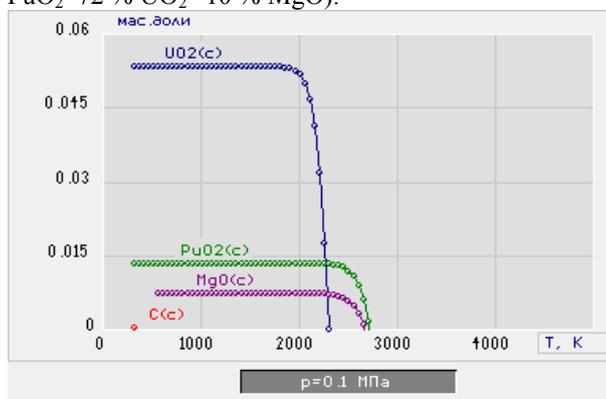


Рис. 1. Влияние температуры на равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки раствора ВОНР в воздушной плазме: (38 % ВОНР – 62 % Воздух)

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке энергоэффективной технологии прямого плазмохимического синтеза различных по составу оксидных композиций «PuO₂-UO₂-MgO» для ДЯТ.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

МОДЕЛЬ РЕАКТОРА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ

Бабаев Р.Г., Каренгин А.А., Побережников А.Д..

Научный руководитель: доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: andrewpad@tpu.ru

Развитие ядерной энергетики в России связывают с реакторами на быстрых нейтронах, использующих дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) в виде сложных оксидных композиций из делящихся материалов (уран, плутоний, торий), размещенных в матрице, имеющей высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов [1].

Однако раздельное получение оксидов урана (плутония, тория) и использование матрицы из порошков металлов (алюминий, молибден, вольфрам и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к удорожанию технологии получения ДЯТ, а традиционные технологии получения сложных оксидных композиций из водных нитратных растворов многостадийны, требуют использования химических реагентов и имеют высокую стоимость.

Предлагается прямой плазмохимический синтез сложных оксидных композиций, включающих делящиеся материалы в виде оксидов металлов (уран, плутоний, торий) и матрицу в виде оксида бериллия (магния), имеющего высокий коэффициент теплопроводности и низкое сечение резонансного поглощения нейтронов, из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны и др.). Это обеспечит прямой плазмохимический синтез в воздушной плазме сложных оксидных композиций с требуемым стехиометрическим составом без дополнительного водородного восстановления и существенное снижение энергозатрат на их получение.

На рисунке 1 представлена модель реактора для плазменной переработки диспергированных растворов ВОНР в воздушно-плазменном потоке.

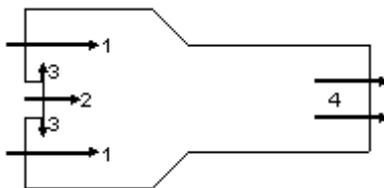


Рис. 1. Модель реактора для плазменной переработки растворов ВОНР:

1 – воздушный поток; 2 – воздушная плазменная струя; 3 – диспергатор; 4 – отходящие газы

Расчеты реактора проведены с применением программного комплекса ANSYS Fluent 6.3. Построение геометрии и расчетной сетки реактора проведено с использованием программы Gambit 2.4. Для расчёта реактора выбрана модель горения без предварительного смешения. Движение капель диспергированных ВОНР в реакторе рассчитывалось с помощью модели дискретных фаз. Обмен импульсом, теплотой, и массой между газом и каплями включался в расчет, чередуясь с расчётом траекторий капель и уравнений непрерывной газовой фазы.

Расчеты проведены при следующих исходных параметрах воздушного потока, плазменной струи и капель ВОНР: скорость воздушного потока $W=10-100$ м/с; скорость плазменной струи $V_c=5-20$ м/с; температура плазменной струи $T_c=2000-4000$ К; диаметр капель $D_k = 10-100$ мкм; скорость капель $V_k=5-20$ м/с; температура капель $T_k=300-600$ К; расход ВОНР $Q_p = 0,1-1,5$ м³/ч; угол закрутки воздушного потока в импеллере реактора $\varphi = 0-60^\circ$.

По результатам расчетов определены следующие режимы, обеспечивающие эффективную обработку диспергированных растворов ВОНР в воздушно-плазменном потоке: $W = 30$ м/с; $\varphi = 30^\circ$; $V_c = 20$ м/с; $T_c=3000$ К; $T_k = 600$ К; $V_k = 3$ м/с; $Q_p = 1,0$ м³/ч.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

ПЛАЗМЕННЫЙ МОДУЛЬ НА БАЗЕ ВЧФ-ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Андреев Д.В., Зубов В.В., Каренгин А.А.

Научный руководитель: доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.ф.-м.н. А.Г. Каренгин
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dva17@tpu.ru

Приоритетным направлением развития ядерной энергетики в России является создание АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, использующих дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) в виде сложных оксидных композиций из делящихся материалов, размещенных в матрице с высоким коэффициентом теплопроводности и низким поглощением нейтронов [1].

Традиционные технологии получения сложных оксидных композиций из водных нитратных растворов многостадийны, требуют использования химических реагентов и имеют высокую стоимость, а раздельное получение оксидов урана (плутония, тория) и использование матрицы из порошков металлов (алюминий, молибден, вольфрам и др.) увеличивает коэффициент теплопроводности, но приводит к удорожанию технологии получения ДЯТ.

Перспективным является прямой плазмохимический синтез сложных оксидных композиций, включающих делящиеся материалы в виде оксидов урана (плутония, тория) и матрицу из оксида бериллия (магния) с высоким коэффициентом теплопроводности и низким поглощением нейтронов, из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны и др.). Это обеспечит синтез в воздушной плазме сложных оксидных композиций с требуемым стехиометрическим составом без дополнительного водородного восстановления и снизит энергозатраты на их получение.

На рисунке 1 представлена схема плазменного модуля на базе высокочастотного факельного плазмотрона, который включает следующие основные узлы: ВЧ генератор ВЧГ8-60/13-01 (1) (рабочая частота 13,56 МГц, колебательная мощность до 60 кВт), ВЧФ-плазмотрон (3), реактор (6), узел диспергирования ВОНР (7), узел «мокрой» очистки отходящих газов (8), газоанализатор «Quintox» КМ 9106 (10) с пробоотборником (11), высокоточный цифровой пирометр IPE 140/45 (12).

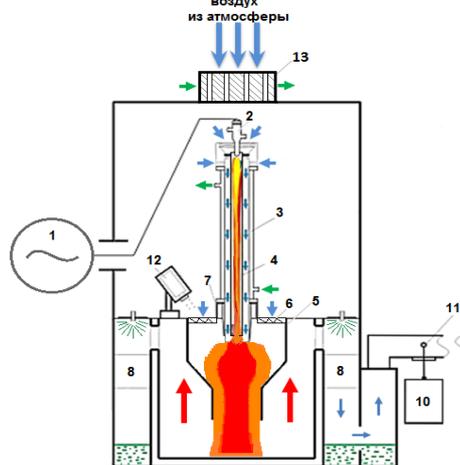


Рис. 1. Схема плазменного модуля на базе ВЧФ-плазмотрона.

В результате проведенных исследований на модельных ВОНР определены режимы работы ВЧФ-плазмотрона и реактора, обеспечивающие прямой плазмохимический синтез сложных оксидных композиций.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ РЕЭКСТРАКТОВ ПЛАТИНОИДОВ ИЗ ОЯТ

Ли В.И., Сагалакова К.А.

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

Интерес к проблеме выделения металлов платиновой группы (Ru, Rh, Pa) из отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) появился еще в начале 60-х годов прошлого века, но до настоящего времени ни один из предложенных методов не был реализован в промышленном масштабе.

Истощение минеральных запасов платиноидов рано или поздно приведет к росту их стоимости до такой степени, что ОЯТ может стать основным замещающим источником их промышленного производства. Развитию технологий, связанных с выделением платиноидов, будет способствовать рост мощностей ядерной энергетики и накопление ОЯТ.

В связи с этим представляет интерес использование плазмы для энергоэффективной обработки реэкстрактов родия (палладия) в виде водных нитратно-нитритных растворов с целью извлечения из отходов переработки ОЯТ.

Плазменная технология переработки водных растворов солей и гидроксидов металлов обладает важными достоинствами [1]. Это возможность одностадийного получения целевых продуктов с гомогенным распределением фаз и заданным стехиометрическим, их чистота и возможность активно влиять на размер и морфологию частиц. Однако эта технология требует значительных энергозатрат (до 2-4 МВт·ч/т). Существенное снижение энергозатрат (до 0,1 МВт·ч/т) может быть достигнуто при плазменной обработке растворов, включающих органический компонент (спирты, кетоны и др.) [2,3].

В результате проведенных расчетов показателей горючести различных по составу растворов на основе этилового этанола (ацетона) и реэкстрактов родия (палладия) определены оптимальные по составу водно-органические растворы реэкстрактов (ВОРР), имеющие низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и обеспечивающих их энергоэффективную плазменную переработку.

С использованием лицензионной программы «TERRA» определены равновесные составы газообразных и конденсированных продуктов плазменной переработки растворов ВОРР в широком диапазоне температур (300÷4000 К) и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (0,1÷0,9), а также энергозатраты на процесс их плазменной переработки.

С учетом полученных результатов определены следующие режимы переработки ВОРР:

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

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазмохимической переработки водных реэкстрактов родия и палладия, а также других ценных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: «Физматлит», 2003. – 759с.
2. Гостева И. В., Каренгин А.Г. Оценка возможности плазменной переработки нитратно-нитритных растворов родия после переработки ОЯТ. // V Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, Томск, 22-24 октября 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 52.
4. Пироженко Т.Е. Исследование процесса плазменной переработки кислых нитратно-нитритных растворов палладия после извлечения из отходов переработки ОЯТ // V Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, 22-24 октября 2014г., г. Северск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2014- С. 61.

Секция 4

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

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

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ В ПУНКТЕ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Леонов А.В.¹, Чубреев Д.О.¹, Беспала Е.В.¹, Беспала Ю.Р.¹

¹ФГУП «Горно-химический комбинат», 662972, Россия, г. Железногорск, ул. Ленина, д. 53
E-mail: bespala_evgeny@mail.ru

На данный момент в Российской Федерации концептуально определены два основных варианта вывода из эксплуатации уран-графитовых реакторов (УГР): «Захоронение на месте» и «Ликвидация». В соответствии с «Концепцией вывода из эксплуатации ПУГР по варианту радиационно-безопасного захоронения на месте» (утверждена заместителем генерального директора Госкорпорации «Росатом» в 2009 г.) первый вариант приемлем для некоторых реакторов при отнесении графитовой кладки к «особым» радиоактивным отходам (РАО). Вывод из эксплуатации ПУГР по варианту «Захоронение на месте» был успешно реализован в 2015 на месте размещения реактора ЭИ-2 и в данный момент реализуется на Реакторном заводе ФГУП «ГХК». При этом с целью предотвращения возможной диффузии и миграции радионуклидов из пункта размещения «особых» РАО и создания многобарьерной системы защиты в соответствии с принципом ALARA дополнительно создаются искусственные барьеры безопасности с использованием технологии бесполостного заполнения [1,2].

В качестве дополнительных барьеров безопасности используются глинистые материалы, содержащие иллитную фракцию в количестве от 18 до 28 % масс и тонкопылеватую – от 34 до 50 % масс. В иллитной фракции преобладают лабильные минералы (сметит, смешаннослойный иллит-сметит, вермикулит, бентонит), в крупных и средних фракциях - железосодержащие фазы (самостоятельные агрегаты, пленки) и глинистые агрегаты, обладающие высокой сорбционной способностью. Многообразие типов кристаллических решеток и их структурных особенностей обеспечивает различные механизмы сорбции радионуклидов на минералах, что обеспечивает надежность фиксации радионуклидов на глине. В ходе проведенных научно-исследовательских работ установлено, что уплотненные свыше 1,5 г /см³ образцы используемого глинистого материала практически водонепроницаемы.

Из-за уплотнения используемого барьерного материала с течением времени возможно образование полостей в местах стыка строительных конструкций и конструктивных элементов реактора. Кроме того, не исключено попадание влаги (из техногенного или природного источника) внутрь пункта размещения «особых» РАО. Это может привести к нарушению целостности глиносодержащих барьеров безопасности. После обнаружения мест образования полостей или обводнения, например методом нейтрон-гамма и нейтрон-нейтронного каротажа, описанным в работе [3], необходимо проведение мероприятий, направленных на восстановление барьеров безопасности. Для этих целей сотрудниками ФГУП «Горно-химический комбинат» был предложен способ осушения барьеров безопасности и ликвидации полостей в барьерном материале, основанный на явлении электроосмотического движения влаги. Под действием электромагнитного поля, создаваемого электродами, расположенными по краям области обводнения (или трещины) возможно перемещение жидкости от одного электрода к другому, что позволяет локализовать область обводнения в месте контакта глины с одним из электродов, тем самым осушить барьерный материал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чубреев Д.О., Кузнецов Г.В. Использование глинистых материалов для создания барьера безопасности выводимого из эксплуатации реактора АД // Известия Томского политехнического университета. – 2016. – Т.327. – № 2. – С. 83–87.
- 2 Izmestiev A., Pavliuk A., Kotlyarevsky S. Application of void-free filling technology for additional safety barriers creation during uranium-graphite reactors decommissioning // Advanced Materials Research. – 2015. – V.1084. – PP. 613-619.
- 3 Pavliuk A.O., Kotlyarevskiy S.G., Bepala E.V., Zakharova E.V., Ermolaev V.M., Volkova A.G. Experience of on-site disposal of production uranium-graphite nuclear reactor // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – V. 184-185. – P. 22–31.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАРАБОТКИ СО-60 НА ИРТ-Т

Колесников Е.В.

Научный руководитель: Аникин М.Н., ассистент ОЯТЦ

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

E-mail: kolesnikov_yevgeniy@mail.ru

Двадцать первый век – это время быстро развивающегося научно-технического прогресса, а значит это период поиска новых подходов и инженерных решений способствующих решению проблем человечества. Одним из таких решений является использование радиоизотопов.

Применение радиоизотопов крайне широко, так как они используются в медицине, в промышленности и при научных исследованиях. Медицинское использование включает в себя радиотерапию и ядерную медицину. Промышленное использование включает дефектоскопию и процессы контроля в металлургической, бумажной, химической промышленности и в дорожном строительстве.

Для получения радиоизотопов используют две технологии: на ускорителях и на реакторах. В данной работе была проведена оптимизация процесса наработки Со-60 на реакторе ИРТ-Т, с помощью программного обеспечения MCU.

Среди огромного количества искусственных радиоактивных изотопов радиокобальт нашел наиболее широкое применение благодаря наличию всего одного стабильного изотопа в природе, что весьма удобно при трансмутации на реакторе.

В основе технологии получения радиокобальта на реакторах лежит реакция радиационного захвата.

При современном спросе на рынке самыми крупными производителями радиокобальта являются каналные реакторы — тяжеловодные CANDU и водно-графитовые РБМК, установленные на ЛАЭС.

С помощью программного обеспечения MCU была разработана модель активной зоны ИРТ-Т, в которой были сделаны бериллиевые блоки с отверстиями. В эти отверстия были помещены алюминиевые трубы толщиной в 1,4 мм. В данные трубы были помещены образцы высотой 1 см. и диаметром 0,68 см.

Для оптимизации процесса наработки радиоизотопа облучение образцов кобальта осуществлялось на установках, размещенных в нескольких вертикальных экспериментальных каналах, размещенных в бериллиевых блоках, в которых были получены плотности потоков нейтронов и скорости реакции радиационного захвата.

Исходя из полученных данных, сделан вывод о том, что чем ближе вертикальный канал к центру активной зоны, тем выше в нем плотность потока нейтронов, а соответственно и скорость реакции радиационного захвата. Наиболее высокая плотность потока нейтронов и скорость реакции наблюдается в центре экспериментального канала по высоте.

Данные полученные в ходе эксперимента согласуются с табличными значениями.

Таким образом, данные для скоростей реакции, полученные расчетным методом с использованием MCU, дают достаточную точность, чтобы проводить дальнейшее исследование по оптимизации и наработке радиокобальта на реакторе ИРТ-Т с помощью данного программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Varlachev V A, Glukhov G G and Skuridin V S 2011 Research Nuclear Reactor IRT-T, Tomsk Polytechnic University (Tomsk:TPU Press).
2. Герасимов А.С., Зарицкая Т.С., Рудик А.П. Справочник по образованию нуклидов в ядерных реакторах Москва, Энергоатомиздат, 1989. –504 с.

НАНЕСЕНИЕ РАДИОАКТИВНОЙ МЕТКИ ТЕХНЕЦИЯ-99М НА МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ НАНОКОЛЛОИДЫ Fe@C (IDA)

Садкин В.Л.

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

sadkin@tpu.ru

Исследована возможность нанесения радиоактивной метки ^{99m}Tc на поверхность наноразмерных частиц железа Fe@C, покрытых углеродной оболочкой, а также частиц Fe@C (IDA), модифицированных арилдиазоний тозилатами. Показано, что на немодифицированных частицах адсорбируется до 11,2 % ^{99m}Tc от его введенного количества. При этом величина атомарной адсорбции не превышает $0,736 \cdot 10^{-9}$ г-ат ^{99m}Tc на 1 г Fe@C. На модифицированных частицах Fe@C (IDA) физическая адсорбция не наблюдается. При их химическом взаимодействии с ^{99m}Tc в присутствии восстанавливающего агента олова (II) выход меченного продукта увеличивается более чем в 1,5 раза и составляет 21,3 % от общей введенной активности радионуклида. Для достижения более высокого выхода необходимо проведение исследований, связанных с подбором оптимальной концентрации и условий приготовления восстановителя или же подбором другого более эффективного восстановителя.

DRAWING OF RADIOACTIVE LABEL TECHNETIUM-99M ON MAGNETICALLY NANOCOLLOIDS Fe@C (IDA).

Sadkin V.L.

National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia

sadkin@tpu.ru

The opportunity of drawing of a radioactive label ^{99m}Tc on a surface nanoscale particles of iron Fe@C, covered by a carbon environment, and also particles Fe@C (IDA), modified aryldiazonium tosylate is investigated. It is shown, that on not modified particles about 11,2 % ^{99m}Tc from its entered quantity are adsorbed. Thus the size of atomic adsorption does not exceed $0,736 \cdot 10^{-9}$ g-at ^{99m}Tc on 1 g Fe@C. On the modified particles Fe@C (IDA) physical adsorption is not observed. At their chemical interaction with ^{99m}Tc at presence of reducing agent of tin (II) output labeled a product increases more than in 1,5 times and makes 21,3 % from the general entered activity radio nuclear. For achievement of higher output carrying out of the researches connected with selection of optimum concentration and conditions of preparation of a reducer or selection of other more effective reducer is necessary.

ПОВЕДЕНИЕ ВОДОРОДА В ТИТАНЕ ПРИ ЕГО ОБЛУЧЕНИИ НЕЙТРОНАМИ

Сюй Шупэн, Ларионов В.В.

Научный руководитель: профессор Варлачев В.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: isxusp@qq.com

Как известно гидриды титана и циркония с высоким содержанием водорода используются в ядерных технологиях. Отмечается, что применение водородосодержащих материалов в качестве защиты от нейтронов обусловлено высоким содержанием водорода в них. Подчеркивается и то обстоятельство, что в свободном состоянии сечение рассеяния тепловых нейтронов водородом составляет 38 барн, а в связанном состоянии в парафине – 80 барн [1, 2]. Однако эти материалы нельзя использовать при высоких температурах, которым присущи процессы в ядерных реакторах. Высокое содержание водорода ведет к охрупчиванию и разрушению стенок контейнеров. Среди отмеченного актуальной является проблема создания гидридов металлов с повышенным содержанием водорода. С другой стороны, соотношение защитных и прочностных характеристик материалов, исследование процессов получения материалов с указанными свойствами представляет дополнительную актуальную проблему. Для защиты получают гидриды с повышенным содержанием водорода до $(12 \div 15) \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$. На практике часто используют соединения титана на основе бора для радиационной защиты (от нейтронов). В докладе проводится исследование реакций насыщения титана водородом под действием нейтронного облучения.

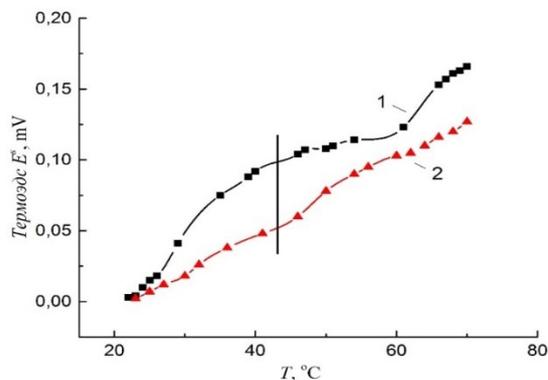


Рис. 1. Зависимость термоэдс от T для концентрации водорода 700ppm (1 – до облучения нейтронами; 2 – после облучения нейтронами.)

водород $H^1 + H^1 \rightarrow H_2$. Образцы после облучения анализировали методом термоэдс. Гамма-спектр измеряли на гамма-спектрометре CANBERRA с ППД из сверхчистого германия. Объем детектора 42,6 кубических см. Энергетическое разрешение детектора равно 1,9 кэВ по гамма-линии с $E = 1,33 \text{ МэВ}$.

Экспериментальная часть. На рис. 1 приведены значения термоэдс до и после облучения нейтронами. Этот результат объясняется увеличением концентрации водорода в титане после облучения. Наблюдается изменение площади петли гистерезиса, величины термоэдс до и после облучения образца нейтронами. Это изменение пропорционально концентрации водорода. В табл.1 приведены результаты измерения термоэдс титана VT1-0 до и после облучения нейтронами

Выводы. Экспериментально подтверждено протекание ядерной реакции в титане при облучении нейтронами с образованием водорода. Наблюдаются гамма-кванты с энергией 889 и 1120 кэВ. Наводороживание титана с последующим облучением приводит к изменению величины термоэдс до 20%, что может быть использовано для оперативного неразрушающего контроля материалов атомной энергетики.

Материалы и методы. Для исследования применяли образцы размером 20x20x1мм из титанового сплава VT1-0. Наводороживание осуществлялось по методу Сивертса [3]. Измерение величины термоэдс проводили на установке с электродом из золота. Использовали канал ядерного реактора со следующими параметрами: Нейтронный поток $\Phi_n = 3 \times 10^{12} \text{ н/см}^2\text{с}$. Время облучения $t_{\text{обл}} = 2 \text{ часа}$. $A = 4 \times 10^{-5} \text{ зв/час}$, где A – активность образца титана после облучения. При облучении титана резонансными нейтронами протекает реакция: $Ti_{22}^{46} + n_0^1 \rightarrow Sc_{21}^{46} + p_1^1 + \gamma$. Период полураспада скандия равен 84 дня. Протоны могут захватывать электрон и превращаться в водород $p_1^1 + e_{-1}^0 \rightarrow H_0^1$. Далее образуется молекулярный

wt (mass. %)	0.042	0.05	0.06	0.07	0.365
мВ (до)	0.315	0.176	0.123	0.123	0.346
мВ (после)	0.382	0.190	0.144	0.163	—

Табл. 1. Изотерма (334 К) термоэдс наводороженного титана VT1-0 до и после облучения нейтронами

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R.R. Hood, L. Isakoff. Progress Report on Heavy Water Reactors. 1961.
2. P.E. MacDonald, T.R. Mager, M. Brumovsky, M. Erve, M.J. Banic, C. Fardy. Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: PWR Pressure Vessels. // International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. 2007. № 1556.
3. V. Larionov, S. Xu, M. Syrtanov. [Measurements of hydrogenated titanium by electric methods](#). (2016) AIP Conference Proceedings, 1772, art. №. 040005. doi: 10.1063/1.4964564

DETERMINATION OF SNOW WATER EQUIVALENT BY THE ATMOSPHERIC BETA-BACKGROUND

Beljaeva I.V.^{1,2}, Yakovlev G.A.³, Yakovleva V.S.¹

Scientific supervisor: Prof. V.S. Yakovleva, Doctor of Science

¹Tomsk Polytechnic University, 30 Lenina Avenue, Tomsk 634050 Russian Federation

²Tomsk State University of Architecture and Building, 2 Solyanaya sq., Tomsk 634003 Russian Federation

³Lyceum at Tomsk Polytechnic University, 4 A.Ivanova Avenue, Tomsk 634028 Russian Federation

E-mail: asdf75@bk.ru

In connection with the natural and climatic changes that are currently taking place in all regions of Russia, the most urgent problem in agriculture is water saving. The development of new technical solutions in the field of crop water consumption is required. Maintaining optimal soil moisture parameters allows you to: get the maximum yield of agricultural crops; rational use of irrigation water, fuel and energy resources. Seasonal snow cover is one of the most important components of the water balance of crop areas. Assessment of snow cover is often difficult.

It is known that in the winter period the radiation background of the surface atmosphere is significantly reduced due to the absorption of photons and electrons, formed during the decay of natural radionuclides, coming out of the soil, by the snow cover. The atmospheric beta-background in the winter period is caused by the secondary beta-radiation generated by the interaction of photons with the atoms of the environment. The aim of the work was to identify the relationship between the snow water equivalent (SWE) and the density of the flux of secondary beta radiation in the surface atmosphere.

The beta-radiation flux density characterizing the beta-background was measured at the Tomsk Observatory of Radioactivity and Ionizing Radiation (TORIR) using the BDPB-01 beta-radiation detection units installed at heights of 1 and 10 m from the earth's surface. Analysis of the monitoring data in TORIR revealed the relationship between the beta-radiation flux density in the atmosphere and SWE (Fig. 1). The SWE was calculated using free-access data on snowfall from the website of «Reliable Prognosis» (https://rp5.ru/Weather_in_Tomsk). The beta radiation flux density in the surface atmosphere during the winter period (Fig. 1a) decreases almost exponentially with an increase in moisture content (snow water equivalent) (Fig. 1b) until the beginning of snow melting. After a complete melting of snow cover, the beta-radiation flux density increases to the values observed during the warm season.

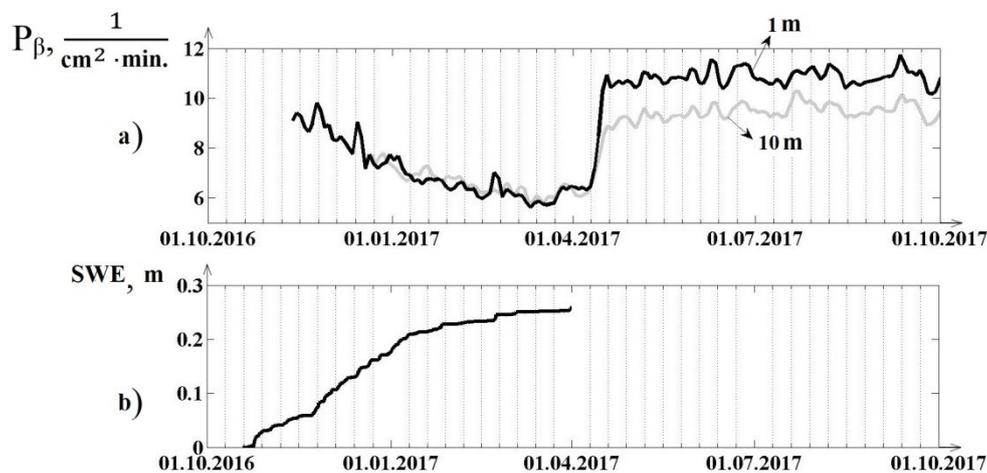


Fig. 1. Dynamics of beta-radiation flux density in the surface atmosphere at different heights (a) and snow water equivalent (b) in the winter period 2016-2017

Bursts observed in the atmospheric beta background in different seasons of the year are due to rain (at a positive atmospheric temperature) or snow (at a negative atmospheric temperature). An analysis of the research results revealed a significant relationship between the SWE and the beta-radiation flux density that makes it possible to quantify the moisture accumulated during the winter. The resulting relationship is valid for any height measurement of the beta background (up to at least 10 m). To estimate the SWE you need to know the mass attenuation coefficient of radiation in the snow cover, which depends on the radionuclide composition of the soil of the study area, the activity of the radionuclides, and can be calculated by the Monte Carlo method.

DEPENDENCE OF COSMIC RAY COMPONENT IN BACKGROUND OF ATMOSPHERE SURFACE FROM SOLAR MAGNETIC ACTIVITY

Zelinskii A.S., Yakovleva V.S.

Scientific adviser: Yakovleva V.S., doctor of technical sciences, associate professor
Tomsk Polytechnic University, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

In scientific literature there are not estimates of changes of the flux density (FD) and of the dose rates (DR) of the secondary cosmic radiation (SCR) at the heights up to 50 m from the land surface (at a depth of atmosphere about 1030 g/cm²). Changes of FD and DR SCR are caused by change of Solar magnetic activity, one of characteristics of which are Wolf's numbers. These data are very important for interpretation of results of monitoring of a background radiation in the ground atmosphere. Modeling of passing of elementary particles through the atmosphere of Earth was made with use of the Monte Carlo method in the environment of Geant4 [1] for the winter (for December 2017).

Results are given in fig. 1 with designations: g – gamma radiation; e-(+) – beta (+) - radiation; p – protons; m-, m+ - muons. We are visible that FD and DR SCR reach the peak at Wolf's 0–25 numbers that will be coordinated with data of other authors. With growth of number of Wolf from 25 to 200 units of FD decreases from 16 to 45%, and DR – from 18 to 40% depending on a type of SCR.

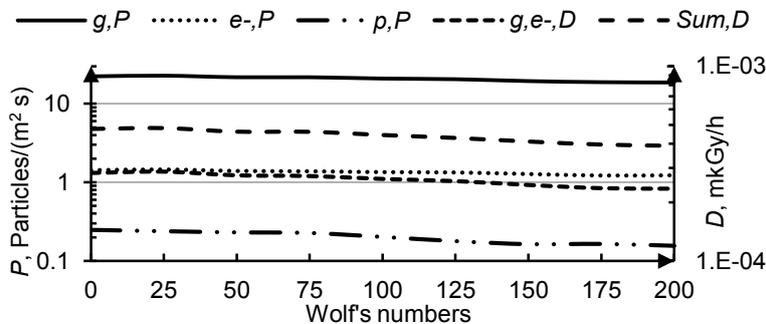


Fig. 1. Dependences of flux density and of the dose rates the SCR component from Wolf's number

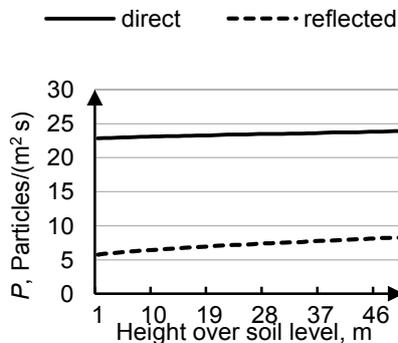


Fig. 2. Dependence of flux density of the direct and reflected photon radiation of SCR from height

The received estimates of dependence DR SCR from Wolf's numbers well be agree with work [2]. The maximum difference between extreme of functional dependences can exceed 40%, for example, the reduction of FD of photons in percentage is 18%. Together with growth of height over the level of the earth, also FD of reflected photon components is grows. Such difference between extreme of functional dependence reaches 35% for height of 50 m or in percentage increase reaches 45%. Besides, in work are carried out comparisons of deposits of secondary space radiation in are total a beta and a gamma backgrounds of soil isotopes and of atmospheric isotopes.

LIST OF REFERENCES

1. Geant4. URL: <http://geant4.cern.ch> (Date of inquir: 26.10.18).
SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes VOLUME I, UNITED NATIONS New York, 2010.

THE DIFFICULTIES OF DETECTOR CALIBRATION USED FOR MONITORING SOIL RADON-222

Cherepnev M.S.¹, Yakovlev² G.A., Yakovleva¹ V.S.

Supervisor: Yakovleva V.S., Doctor of Technical Sciences, Professor

¹Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Ave., 30

²Municipal budgetary educational institution of lyceum at TPU, 634028, Russia, Tomsk, st. A. Ivanova, 4

E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

Monitoring of soil radioactive gases is carried out both for the prediction of earthquakes and for the study of gas exchange processes between the lithosphere and the atmosphere. An optimal and widely used method for measuring 222 isotope of radon in soil air is to use an α - or β -radiation detector installed inside a well to a certain depth. The conversion of the pulse count rate measured by the detector into the amount of volumetric activity (VA) of soil radon is done by multiplying by a correction coefficient, which is determined from the calibration results. However, the procedure for calibrating detectors used to monitor soil radon-222 is not regulated. Analysis of publications on this topic showed the lack of uniformity in the approaches to calibration among various research teams, and also revealed the need for a comprehensive research of the issues of calibration.

Continuous monitoring of radon VA in the ground at different depths was carried out at the Tomsk Observatory of Radioactivity and Ionizing Radiation (TORIR) of TPU from 2010 to the present using α and β scintillation detectors (BDPA-01 and BDPB-01, ATOMTEX, Republic Belarus). The first series of calibration experiments was conducted in TORIR as early as 2011 using a Radon RTM2200 radiometer (Germany), which was cyclically connected to a calibrated well, in which an α or β radiation detector was installed, using silicone tubes. As a result, a strong influence of the cyclic air pumping process through the well and radiometer on the magnitude and dynamics of VA radon in the calibrated well was revealed. After connecting the air pumping system from the well to the radiometer, and vice versa, the average α -background decreased by 10–30%. This is due to the partial removal from the well of the 220th radon isotope, as well as the aerosol daughter decay products (DDP) of radon isotopes. It was noted that when the air pumping is turned off, the α -background in the well is quickly restored. The system of air pumping influences the β -background much more strongly, the amplitude of variations of the beta-radiation flux density inside the well recorded by the detector decreases by almost 2 times.

Pulse counting rate from α -radiation in the well after connecting the cyclic purge circuit decreased by almost 4 times. Wherein significantly increased the standard deviation. Although after the completion of the well pumping, the α -background (in VA units of radon) increased and became equal to the β -background.

The strong influence of the pumping system in the autumn calibration experiment, compared with the summer experiment, when after connecting the pumping system, the average α -background in the 0.5 m well decreased by only 20%, can be explained by a leakage at the junction of the radiometer tubes connecting with plastic-coated pipe in the well, due to large temperature drops.

Analysis of the results of the calibration experiments showed the following. Some correction coefficients determined for one detector in repeated experiments had a strong discrepancy. For the β -background, this can be explained by the fact that the detector was moved to a different distance from the ground when the air pumping system was connected, which changed the value of $N_{\beta s}$, from 1 to 3.1 imp./sec (from 47% to 65% of the total pulse count rate). Thus, the change in the height of the β -detector installation in the well strongly influenced both the correction coefficient for converting the counting rate to volumetric activity and the constant ($N_{\beta s}$) component of the counting rate due to β -emitting soil radionuclides not related to DDP of radon and thoron.

In a calibration experiment in 2018, a RAD7 radiometer (USA) was used. During calibration, previous errors were taken into account. Separate wells were created, intended only for calibration, without detectors, with insulated tubes and outward tubing for connecting a radon radiometer. Based on the results of calibration experiments, general recommendations were formulated for the conditions and procedure for calibrating ionizing radiation detectors installed in wells to monitor soil radon.

The main conclusions of the work: a) for calibration it is not recommended to use wells with already installed detectors, in opposite, better would be to drill an additional well with similar characteristics (depth, diameter); b) if, as a result of the maintenance of the wells with the detectors, the radiation detectors were moved, removed and replaced, it is necessary to recalibrate and determine the new correction coefficient; c) β -detectors are especially sensitive to displacement.

RADON ISOTOPES AS AN INDICATORS OF DYNAMIC ATMOSPHERIC PROCESSES

Yakovlev G.A.¹, Nguen T.H.², Yakovleva V.S.²

Scientific supervisor: Prof. V.S. Yakovleva, Doctor of Science

¹Lyceum at Tomsk Polytechnic University, 4 A.Ivanova Avenue, Tomsk 634028 Russian Federation

²Tomsk Polytechnic University, 30 Lenina Avenue, Tomsk 634050 Russian Federation

E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

The study of the behavior of radon isotopes in the surface atmosphere is a relevant task, since radon and thoron are excellent indicators of dynamic processes, such as the vertical and horizontal transfer of air masses, gas exchange in the lithosphere-atmosphere system (the Earth's breath). The behavior of radon isotopes is due to changes in weather conditions, the state of the atmosphere and the surface layer of the soil. Radon and thoron, unlike other tracer gases, are easy enough to measure. Moreover, due to the differences in the nuclear-physical properties of these isotopes, namely, the decay constants, radon and thoron, when measured together, they can carry information about the processes of different time scales. The above defined the purpose of this work - the study of the dynamics of radon and thoron in the surface atmosphere, the identification of patterns on different time scales from daily to annual.

Continuous monitoring of volumetric activity (VA) of radon, thoron and its decay products in the surface atmosphere was made from the end of 2016 in the Tomsk Observatory of Radioactivity and Ionizing Radiation using RTM2200 radon radiometer (Germany) installed 1 m from the earth's surface. RAD7 radiometer (USA) was used to study the vertical profile of VA of radon isotopes. Synchronous measurements of radon and thoron at different heights were made continuously with tact of 30 minutes. Analysis of the monitoring data revealed a number of regularities on the daily and annual scale and the main influencing factors. According to the results of the analysis, regularities were revealed in seasonal dynamics (Fig. 1). Seasonal trend for radon VA is expressed poorly. The minimum values are observed in the period of melting of snow cover. For thoron, a completely different behavior is characteristic - in winter, minimum values are observed, and in the warm period of the year - maximum.

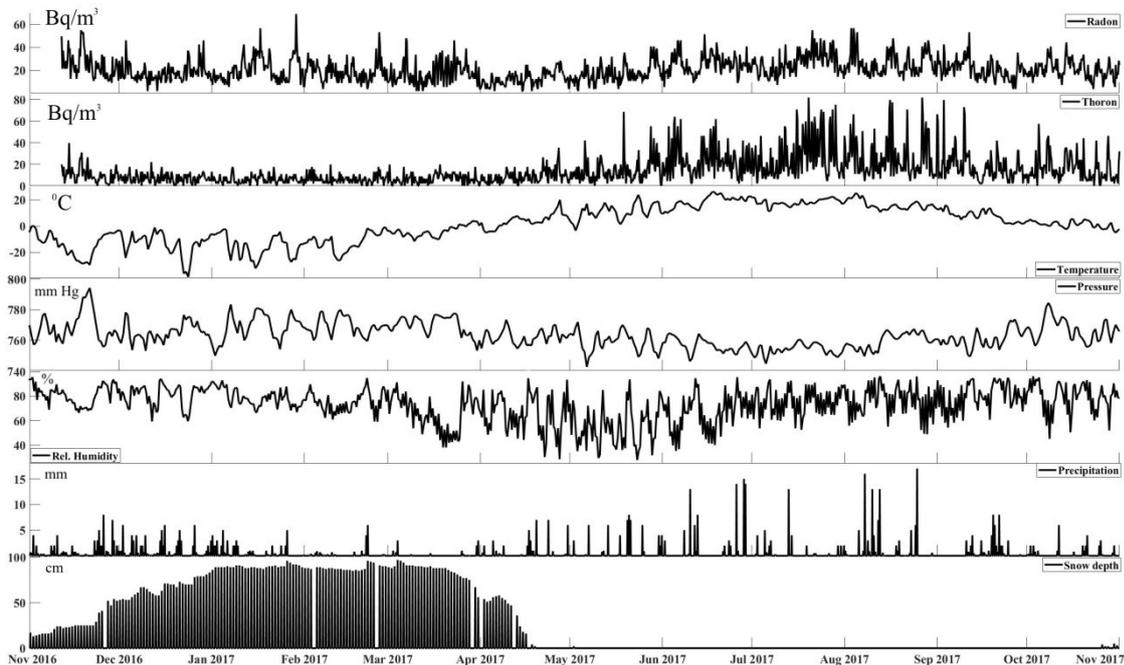


Fig.1. Dynamics of VA of radon isotopes and meteorological quantities

The diurnal variations of the VA of radon and thoron are much larger than the seasonal variations. The diurnal variations of radon and thoron volumetric activity are clearly expressed during periods without rain or snow. The maximum VA of radon is observed in the pre-dawn hours, when the atmosphere is the least mobile, and the minimum - in the daytime, when vertical mixing of air due to turbulent diffusion is maximal. The paper discusses the effect of various meteorological quantities on the magnitude and dynamics of radon isotopes, and a comparison with the results of other authors.

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УСТАНОВКИ НОВОГО КАНАЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФОСФОРА

Емец Е.Г., Варлачев В.А., Зукау В.В., Кабанов Д.В., Масленников Ю.С., Чибисов Е.В.

Научный руководитель: Меркулов В.Г.

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

E-mail: merkvg@tpu.ru

Для оценки целесообразности установки канала в ТВС с целью получения фосфора был произведен численный эксперимент с помощью пакета программ MCU5, который позволяет моделировать и проводить расчеты переноса нейтронного и гамма-излучения в трехмерной геометрии методом Монте-Карло. В данном пакете программ создана полномасштабная модель реактора ИРТ-Т с экспериментальными каналами, и рассчитано два варианта.

Первый вариант. Активная зона была набрана из 12 восьмитрубных ТВС и 8 шеститрубных ТВС. В центре активной зоны расположена бериллиевая ловушка нейтронов. Она представляет собой четыре бериллиевых блока в центре зоны. Внутри каждого блока ловушки могут располагаться экспериментальные вертикальные каналы. Диаметр центрального канала, который использовался в расчёте, составил 2 см, длина регистрационной части 10 см. Канал заполнен водой. В расчете против центра активной зоны располагался вытеснитель, который представлял собой воздушную полость, имитирующую пенал для облучения. Внутри этой полости вычислялась плотность потока нейтронов. Разыгрывалось 5000000 историй.

Второй вариант. Геометрия расчета отличалась от предыдущего варианта только тем, что вместо одной восьмитрубной ТВС была установлена шеститрубная кассета с установленным в ней экспериментальным каналом. Эта кассета располагалась в соседней ячейке слева от центрального канала из предыдущего варианта. Диаметр канала, который использовался в расчёте, составил 1,8 см, длина регистрационной части 10 см. Канал заполнен водой. В остальном расчёт не отличался от предыдущего варианта. Геометрия расчетов представлена на рисунке 1.

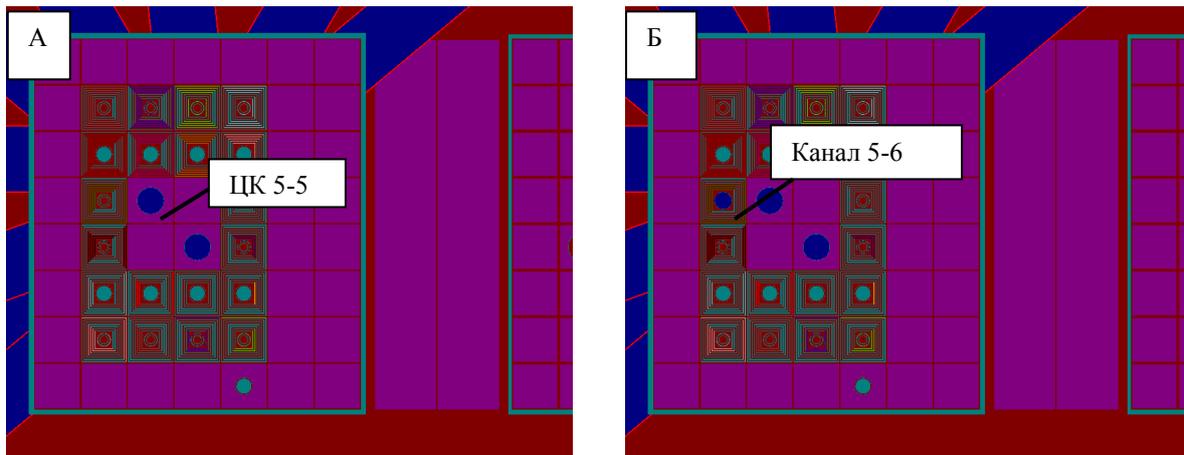


Рисунок 1. Геометрия расчета. А) Обычная геометрия. Б) Геометрия с установленным каналом внутри ТВС.

В связи с тем, что канал предназначен для производства фосфора из серы 32, то были получены значения плотностей потока нейтронов с энергией более 3,2 МэВ (пороговая реакция на сере). В результате расчетов были получены следующие данные: для центрального канала плотность потока составила $7,63 \cdot 10^{12}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, а для канала, установленного в топливной кассете она составила $8,57 \cdot 10^{12}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Кроме того, был вычислен спектральный коэффициент (отношение тепловых нейтронов к нейтронам с энергией более 3,2 МэВ) для каждого варианта. Он оказался равен для центрального канала в бериллиевой ловушке 1,33, а для канала 5-6 он составил 1,04. Таким образом, можно считать, что выигрыш при облучении в ТВС по плотности даст не более 12%, с другой стороны, чем меньше спектральный коэффициент, тем больше быстрых нейтронов будет в канале.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕРМОСУБЛИМАЦИОННУЮ ОЧИСТКУ ФОСФОРА-32, НАРАБОТАННОГО ПО ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$.

Зукау В.В., Кабанов Д.В., Масленников Ю.С., Чибисов Е.В.

Научный руководитель: Меркулов В.Г.

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

E-mail: merkvg@tpu.ru

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

Нарабатывают радионуклид фосфор-32 на ядерных реакторах, облучая фосфор-31 тепловыми нейтронами, или из серы-32 при активации стартовых мишеней быстрыми нейтронами ($\geq 3,2$ МэВ). Второй способ является предпочтительным, т.к. в этом случае целевой радионуклид выделяют в радиохимически чистом виде без носителя с высокой мольной активностью фосфора-32, что, наряду с высокой радиохимической чистотой, особенно важно при проведении исследований в области молекулярной биологии и ядерной медицины.

Технологический процесс получения ортофосфорной (^{32}P) кислоты в радиохимически чистом виде состоит из четырёх основных стадий:

1. Облучение серы природного изотопного состава быстрыми нейтронами в экспериментальном канале реактора ИРТ-Т;
2. Термосублимационное разделение серы и фосфора-32;
3. Получение ортофосфорной кислоты, меченной фосфором-32;
4. Хроматографическая очистка ортофосфорной кислоты, меченной фосфором-32 на ионообменных смолах.

В общем случае на качество конечного продукта (ортофосфорной кислоты, меченной фосфором-32) большое влияние оказывает чистота исходных материалов, веществ и реактивов.

При облучении серы в экспериментальном канале реактора ИРТ-Т, в результате воздействия нейтронного и гамма- излучений, происходит разрыв межмолекулярных связей S–S, что приводит к образованию различных радиационных дефектов. Этот факт оказывает существенное влияние на процесс термосублимационной отгонки серы. Для устранения этого недостатка необходимо провести перекристаллизацию материала мишени. С этой целью ампулу с облученной серой устанавливают в сублимационную установку, расплавляют, нагревают до температуры 200-210 °С и медленно охлаждают в течении 5-10 часов.

Термосублимацию серы осуществляют в установке при температуре 160-180 °С и разрежении (1-1,5) · 10⁻¹ мм. рт. ст. Разрыв межмолекулярных связей и частичная полимеризация серы, приводящие к значительному уменьшению скорости сублимации, наблюдаются и в процессе отгонки серы. Связано это, в основном, с действием бета-частиц, испускаемых наработанными в результате облучения изотопами ^{32}P , ^{33}P и ^{35}S , на материал мишени. Поэтому осуществляют циклический процесс сублимации серы, состоящий из трёх стадий:

1. Термосублимация серы в течении 40-60 минут при температуре 160-180 °С и разрежении (1-1,5) · 10⁻¹ мм. рт. ст.;
2. Разогрев мишени до температуры 200-210 °С при разрежении (1-1,5) · 10⁻¹ мм. рт. ст. в течении 10-20 минут;
3. Охлаждение мишени до её полной перекристаллизации.

Количество таких циклов, как правило, не превышает 3-4.

Для получения ортофосфорной кислоты в ампулу, после отгонки серы и содержащую фосфор-32, вносят 10 мл соляной кислоты концентрацией 0,1 моль/л и кипятят содержимое ампулы до полного испарения жидкости. С целью предотвращения образования полифосфатной фракции, ведущей к потере основного вещества, необходимо исключить перегрев ортофосфорной кислоты в ампуле. Поэтому окончание процесса испарения следует вести при температуре не выше 50-60 °С.

Очистку ортофосфорной (^{32}P) кислоты от возможных примесей осуществляют на хроматографических колонках с использованием ионообменных смол Дауэкс 50Wx4 (H+ форма, 0,18-1,18 мм) и Дауэкс 1x4 (форма хлорида, 100-200 меш). Разработана методика подготовки ионообменных смол и определён срок годности хроматографических колонок, не превышающий 7 дней.

Результаты выполненных исследований позволяют осуществлять промышленный выпуск ортофосфорной кислоты, меченной фосфором-32, с качеством выше мирового.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ МЕДИЦИНСКОГО ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ

Зукан В.В., Доняева Е.С., Чикова И.В.

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

E-mail: zukau@tpu.ru

Развитие радиационных технологий в медицине создало потенциальную угрозу получения повышенных доз облучения для человека. Поэтому решение проблем, связанных с защитой от ионизирующих излучений, является одной из актуальных задач, связанных с использованием указанных технологий.

Медицинские линейные ускорители применяются для лечения онкологических заболеваний методом дистанционной лучевой терапии. Данный метод предполагает использование линейного ускорителя в качестве источника ионизирующего излучения. Линейный ускоритель генерирует фотонные или электронные пучки, используемые непосредственно для облучения пациента.

Для снижения дозовой нагрузки на персонал и население, радиационная защита должна быть спроектирована и изготовлена таким образом, чтобы обеспечивалась радиационная безопасность.

Материалы, располагаемые между источником излучения и зоной размещения персонала или оборудования для ослабления ионизирующего излучения классифицируются по назначению, типу (сплошная защита, раздельная защита, теньевая защита, частичная), компоновке (гомогенную, гетерогенную), форме (плоская, сферическая и цилиндрическая защиты) и геометрии (бесконечная, полубесконечная, барьерная и ограниченная). Тип материала выбирается с учетом защитных и механических свойств.

Дозиметрические измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) ионизирующего излучения от медицинского линейного ускорителя за биологической радиационной защитой, выполненной из бетона в виде лабиринта с двумя изгибами, проводились с использованием поверенных средств измерений: ДКС-АТ1123, ДКС-96, МКС-А03-01Н.

Согласно действующих нормативных требований НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010, СанПиН 2.6.1.2573-2010 были определены контрольные точки и допустимые мощности доз в этих точках для проверки достаточности биологической радиационной защиты медицинского ЛУ в режиме излучения фотонов с энергией 6 и 10 МэВ, с максимальными размерами поля облучения 40 см × 40 см в плоскости изоцентра, при направлениях фотонного пучка: -90°; 0°; 90°; 180°. Результаты измерений для оператора и врача-онколога представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Приведенные к рабочей нагрузке значения эффективной мощности дозы в режиме излучения фотонов с энергией 10 МэВ (с учетом рабочей нагрузки двухсменной средненедельной 1500 Гр/нед)

Наименование места измерений	Направление пучка фотонного излучения	Приведенные значения эффективной мощности дозы, мкЗв/ч	Допустимая мощность дозы за радиационной защитой для соответствующей категории облучаемых лиц - ДМД, мкЗв/ч
Рабочее место - оператора	-90°	0,139	11,8
	0°	0,153	
	90°	0,157	
	180°	0,162	
Рабочее место – врача-онколога	-90°	0,063	11,8
	0°	0,073	
	90°	0,097	
	180°	0,079	

По результатам измерений МАЭД фотонного и нейтронного излучения при эксплуатации ЛУ с максимальной энергией фотонов 6 и 10 МэВ, с учетом рабочей нагрузки двухсменной средненедельной 1500 Гр/нед. и максимальной мощности дозы 6 Гр/мин – в контрольных точках измерений не выявлено превышения рассчитанных значений МАЭД над значениями допустимых мощностей доз, рассчитанных для персонала группы А, группы Б и населения с учетом времени их вероятностного пребывания и назначения смежных помещений и прилегающих территорий.

ESTIMATION OF RAIN INTENSITY BY RADIATION MARKERS

Pustovalov K.N.^{1,2}, Yakovlev G.A.³, Belyaeva V.^{4,5}, Yakovleva V.S.⁴

¹Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 634055, Russia, Tomsk, Akademichesky Ave., 10/3

²Tomsk State University, 634050, Russia, Tomsk, Lenina Ave., 36

³Lyceum at Tomsk Polytechnic University, 634028, Russia, Tomsk, A. Ivanova st., 4

⁴Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenina Ave., 30

⁵Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 634003, Russia, Tomsk, Solyanaya sq., 2
E-mail: const.pv@yandex.ru

Soil radioactive gases and atmospheric radionuclides are among the main components of the atmospheric radiation background. They are excellent tracers of various atmospheric and geophysical processes.

Monitoring of the radiation background of the surface layer of the atmosphere has shown that its magnitude is not constant and depends on various factors, such as the state of the atmosphere, time of day, season of the year and geographical position of the region. An abnormal increase in the radiation background is observed with rainfall. This phenomenon is explained by the processes of leaching of short-lived radon and toron decay products from the atmosphere, and the greater the intensity of rainfall, the greater the dose rate increases. Previously, scientists of TPU and IMCES jointly developed the GammaRain method, which relates the intensity of rainfall and the dose rate of γ -gamma radiation. To implement this method and determine the quantitative relationship between precipitation parameters and an increase in the background radiation, detailed data with good temporal resolution on precipitation intensity dynamics are needed, which became possible after installing a shuttle precipitation gauge at the TPU–IMCES experimental site.

The purpose of this work was to estimate the intensity of precipitation using radiation markers, which used the magnitude of the anomalous surge of the γ -radiation dose rate and the β -radiation flux density during precipitation. The study analyzed the dependences of the γ -radiation dose rate and β -radiation flux density on meteorological parameters, such as the height of rain clouds, the density and turbulence of the atmosphere. The simulation took into account the spatial (in the vertical direction) and temporal dynamics of the γ -radiation dose rate generated by short-lived daughter products of the decay of radon and toron in the surface atmosphere, washed out to the surface of the earth during rainfall. When calculating the spatial distribution (in the vertical direction) of the volume activity of short-lived daughter decay products of radon and toron, the state of the atmosphere was taken into account. As a result of assessing the contributions of individual atmospheric radionuclides to the total dose rate at various coefficients of turbulent diffusion and the height of the lower edge of rain clouds, the radionuclides were identified that make the main contribution to the total γ -background. Using the GammaRain method patented in the Russian Federation, the determination of precipitation intensity from the measured γ -radiation dose rate and β -radiation flux density was used to verify the calculated values and dynamics of rainfall intensity with experimental data obtained using a shuttle precipitator (Fig. 1).

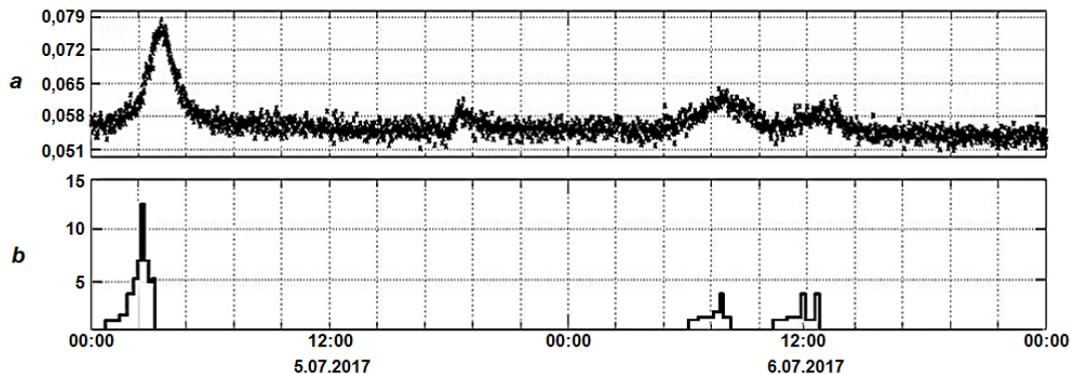


Fig. 1. Dynamics of gamma-radiation dose rate (in $\mu\text{Sv/h}$) in the surface atmosphere (a) and precipitation intensity (mm/h) according to the shuttle precipitation gauge (b) in the period from July 5 to July 7, 2017

A good convergence of the calculated and experimental results was obtained, which indicates the possibility of using the parameters of the dose rate of γ -radiation and the β -radiation flux density to estimate the intensity of precipitation.

RADIATION CONTROL OF WASTEWATER DURING RADIOLOGICAL RESEARCH IN VIVO BASED ON TC - 99M

Bezdenzhnykh I.V., Bryanskiy K.S.

Scientific director: Bezdenzhnykh I.V., director of department radiation safety tomsk oncology centr
Tomsk polytechnic university, 634050, Russia, Tomsk city, Lenina Avenue, 30
E-mail: i.v.bezdenzhnykh@tomonco.ru

On a based Tomsk regional oncology center in the department of radionuclide diagnostics conducted research using radiopharmaceuticals, in particular solution is used for preparations Tc – 99m, derived from technetium generator.

The use of this isotope is associated with such methods as scintigraphy and single photon emission computed tomography. The decay of Tc - 99m emits gamma - quants with an energy of 140 keV and a 90% relative probability. Half-life is 6.04 hours. Radiopharmaceuticals based on Tc - 99m are open radionuclide sources (ORS). As a consequence, all the requirements of regulatory and technical documentation for working with ORS also apply to radiopharmaceuticals.

Radiation safety (RS), necessary component when conducting radioisotope research. Radiation Safety Measures must be in strict accordance with federal law. Federal law № 3 «about radiation safety of the population» and federal law № 52 «about sanitary and epidemiological welfare of the population » and next regulatory document as «radiation safety standards» 99/09, « basic sanitary rules for radiation safety » 99/10, « sanitary rules for radioactive waste management » 2002, and other [1-6]. The reports of the International Commission on Radiation Protection are taken into account.

in accordance with paragraph 11.3 guidelines 2.6.1.1892 – 04 radiation control in the department of radionuclide diagnostics in depend of volume and characters of working with radiation source must include:

1. Individual dosimetric control of external exposure of personnel;
2. Individual radiometric monitoring of the level of incorporation of radionuclides by personnel in the event of a radiation accident;
3. Measurement of levels of radioactive contamination of working surfaces, clothing and skin of workers;
4. Measurements of the absorbed dose rate of photon and beta radiation at workplaces of staff, and when working with radioactive gases;
5. Measurements of the volumetric activity of radioactive aerosols in the air of the working room;
6. Control over the collection, storage and disposal of solid radioactive waste;
7. Radiometric control of wastewater;
8. Radiometric control of filters ventilation systems.

Of particular interest is the need for radiation monitoring of wastewater. Carrying out such control on the territory of radioisotope laboratories presupposes the presence of an autonomous special sewage system with sewage treatment plants and septic tanks. Equipped with radiometric equipment.

But paragraphs 3.14.5 [3] same document, asserts that for laboratories class II or III allowed output wastewater from the sinks and toilets directly into the domestic sewage. The presence of special sewers with septic tanks in in vivo radionuclide diagnostics units is not required.

The purpose of this work is actualization of guidelines regulatory document [3] for department of radionuclide diagnostics. This work will allow to understand exist a real need for radiation monitoring of wastewater.

The study consisted of measuring power of ambient dose equivalent from the sewer drain pipe during operation of the radionuclide diagnostics unit and a comparative analysis of the results. And verification of compliance with wastewater safety criteria.

BIBLIOGRAPHY

1. Federal law № 3 «about radiation safety of the population» [text], M.: Omega-L, 1997. – 134.
2. Federal law № 52 «about sanitary and epidemiological welfare of the population » [text], M.: Russian newspaper, 1999. – 86.
3. Guidelines 2.6.1.1892 - 04 «Hygienic requirements for ensuring radiation safety during radionuclide diagnostics using radiopharmaceuticals» [text]. – M.: Omega-L, 2004. – 112.

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF A PREPARATION BASED ON ^{212}Pb - LABELED DOTATATE SYNTHETIC PEPTIDE FOR THERAPY OF NEUROENDOCRINE TUMORS

Kokov K. V., Chuvilin D. Yu., Egorova B. V. *

National Research Center "Kurchatov Institute", 1, Akademika Kurchatova pl., Moscow, 123182,
Russia

* Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University, 1-3, Leninskiye Gory Street, Moscow,
119991, Russia

E-mail: kvkokov@yandex.ru

Radionuclide therapy, based on the use of α - and β -emitting radionuclides for labeling compounds with the ability of targeted delivery to a cancer cell, is currently one of the most promising methods for the treatment of oncological diseases. ^{212}Pb is of particular concern, since it is a β -emitter, but its daughter radionuclides ^{212}Bi and ^{212}Po undergo α -decay, whereby ^{212}Pb is to be considered as an *in vivo* α -particle generator.

In this regard, a method for the synthesis of a labeled complex based on synthetic peptide octreotate conjugated with bifunctional chelating agent DOTA was developed. The octreotate-DOTA (DOTATATE) complex was labeled with ^{210}Pb and ^{212}Pb radionuclides.

A search for the most suitable conditions of thin-layer chromatography application for determination of the radiochemical yield of labeling reactions was carried out with more long-lived isotope ^{210}Pb which was extracted with the use of extraction chromatography on Sr-resin (Triskem Inc.) according to the technique described in numerous papers. The radionuclide ^{212}Pb was produced using the developed $^{228}\text{Th} / ^{212}\text{Pb}$ generator. Its principle is based on the removal from the volume with ^{228}Th -containing ion exchange resin gaseous ^{220}Rn into a separate collector vessel with air flow. After radon decay, formed ^{212}Pb is washed out from the collector with a solution of 0.1 M HCl. Due to this phase separation, a high radionuclide purity of the preparation is provided, which plays an important role in nuclear medicine applications.

Herein the labeling conditions such as peptide amount and synthesis time were varied to study the dependence of the DOTATATE labeling yield on these conditions. It was shown that the ^{212}Pb -DOTATATE complex is formed with high efficiency at a temperature of 90°C, an incubation time of 15 minutes and pH values of 5.0-6.5. The specific activity was 0.05 MBq / nmol of peptide.

Investigations have also been carried out to show the dissociative stability of the synthesized complex in isotonic solution. It was shown that the stability of the complex remains at > 95% throughout the half-life of ^{212}Pb (10.64 h). The labeling yield, as well as the stability of the complex in isotonic solution, was determined by thin layer chromatography.

Investigations also were carried out to determine the stability of the complex in human serum. Serum was obtained from the blood of healthy donor. After the complex was diluted in serum, aliquots were taken from this mixture after definite time intervals (1, 3, 6, 10 h), then serum proteins were denatured by adding 96% ethanol, followed by precipitation of proteins by centrifugation for 5 minutes (5000g). The value of stability was determined by the ratio of activity in the supernatant (unrelated to proteins activity) to the initial activity in the aliquot. Experiments have shown that the stability amounts from 80% to 90% up to 10 hours. Thus, a large proportion of the complex retains its therapeutic potential in the blood serum substance.

The results obtained allow regarding the ^{212}Pb -DOTATATE complex as a promising radiopharmaceutical which opens the pathway to possible studies of the specificity of bounding with SSTR2-containing cells, cytotoxicity, and preparation biodistribution. Further, the complex can be considered as one of the tools for the treatment of neuroendocrine tumors, as well as other oncological diseases.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ Sr И Mg В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПОЛУЧАЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ РАЗДЕЛЕНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИНДУЦИРОВАННОГО ДРЕЙФА

Масленников Ю.С., Ушаков И.А., Абдиянов А.Е.

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

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

E-mail: jiaozu@tpu.ru

Явление направленного селективного дрейфа сольватированных ионов под действием внешнего асимметричного электрического поля на сегодня не нашло значительного применения. Основной причиной небольшого количества практических использований обнаруженного явления является недостаток экспериментальных данных о влиянии частот электрического поля на эффективность процессов разделения ионов различных металлов щелочной группы в движущихся растворах [1]. В данной работе представлена методика определения ионов стронция и магния в водных растворах хлоридов вышеприведенных элементов при помощи спектрофотометра.

Цель работы – количественное определение содержания ионов стронция и магния в водных растворах получаемых методом электроиндуцированного дрейфа под действием асимметричного электрического поля.

Для значительного поглощения проходящего света был выбран индикатор «эриохром черный специальный Т». Данный индикатор образует два комплекса с ионами магния при pH=10.1 состава 1:2 и 1:3. Максимум поглощения комплекса приходится при 550-560 нм. При pH 10.1 эриохром черный специальный Т практически не образует комплекса с ионами стронция, и поэтому может с некоторой ошибкой не учитываться при их совместном определении. Спектрофотометрирование ионов стронция и магния осуществляется в аммиачно-буферном растворе с добавлением небольшого количества водного раствора хлоридов стронция и магния и с добавлением небольшого количества 0,1% раствора эриохрома черного в этиловом спирте.

В работе представлены результаты экспериментов по аналитическому определению концентрации смеси хлоридов магния и стронция полученной после метода направленного селективного дрейфа сольватированных ионов под действием внешнего “асимметричного” электрического поля на циркулирующий раствор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li Hongda , Kazaryan M. A. , Shamanin I. V. , Timchenko S. N. , Ushakov I. A. Electroinduced drift of solvated ions in salt solution of Ce and Ni // Journal of Chemical Physics. - 2018 - Vol. 130 - №. 8, Article number 111. - pp. 1-6.
2. V. Shamanin, M. A. Kazaryan, S. N. Timchenko, I. A. Ushakov Mechanistic models of the ion-solvation shell system// [Bulletin of the Lebedev Physics Institute](#) -2017 – vol. 44 -iss. 9. – pp. 254–257.

РАЗДЕЛЕНИЕ Sr И Mg МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИНДУЦИРОВАННОГО ДРЕЙФА

Ушаков И.А., Головков Н.И., Болгов С.Ю.

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

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

E-mail: timsn@tpu.ru

Явление направленного селективного дрейфа сольватированных ионов под действием внешнего асимметричного электрического поля на сегодня не нашло значительного применения. Основной причиной небольшого количества практических использований обнаруженного явления является недостаток экспериментальных данных о влиянии частот электрического поля на эффективность процессов разделения ионов различных металлов щелочной группы в движущихся растворах [1]. В данной работе проведен ряд экспериментов по возбуждению явления селективного дрейфа сольватированных ионов под действием внешнего “асимметричного” электрического поля на движущийся водный раствор солей хлоридов магния и стронция. [2].

Цель работы – исследование процессов электроиндуцированного дрейфа сольватированных ионов в растворе под действием асимметричного электрического поля. Исследование частотной зависимости эффекта разделения ионов магния и стронция.

В работе представлены результаты экспериментов по разделению смеси хлоридов магния и стронция методом направленного селективного дрейфа сольватированных ионов под действием внешнего “асимметричного” электрического поля на циркулирующий раствор. Определены закономерности влияния частоты поля и амплитуды напряженности поля на возбуждение явления, а также изучение эксплуатационных характеристик опытного устройства – разделительной ячейки. Показано, что эффект селективного дрейфа наблюдается для каждого из присутствующих в растворе ионов в определенном диапазоне частот переменного асимметричного поля. Изучены качественные и количественные закономерности частотной зависимости содержания ионов магния и стронция в смеси их хлоридных растворов. И проведена количественная оценка эффекта разделения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li Hongda , Kazaryan M. A. , Shamanin I. V. , Timchenko S. N. , Ushakov I. A. Electroinduced drift of solvated ions in salt solution of Ce and Ni // *Journal of Chemical Physics*. - 2018 - Vol. 130 - №. 8, Article number 111. - pp. 1-6.
2. V. Shamanin, M. A. Kazaryan, S. N. Timchenko, I. A. Ushakov Mechanistic models of the ion-solvation shell system// [Bulletin of the Lebedev Physics Institute](#) -2017 – vol. 44 -iss. 9. – pp. 254–257.

РАЗДЕЛЕНИЕ Ba И Sr МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИНДУЦИРОВАННОГО ДРЕЙФА

Масленников Ю.С., Ушаков И.А., Тимченко С.Н., Головков Н.И.

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

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

E-mail: jjaozu@tpu.ru

Явление селективного дрейфа гидратированных ионов под действием внешнего электрического поля с асимметричной формой сигнала на сегодня не нашло значительного применения. Одним из применений данного метода возможно разделение радиоактивных отходов, например, возникающих после эксплуатации атомных электростанций, для уменьшения их объема. Ранее экспериментальные работы проводились на стабильных элементах [1], и поэтому нет экспериментальных данных о влиянии частот электрического поля на эффективность процессов разделения радиоактивных ионов различных металлов щелочной группы в движущихся растворах. В данной работе проведен ряд экспериментов по возбуждению явления селективного дрейфа гидратированных радиоактивных ионов под действием внешнего “асимметричного” электрического поля на движущийся водный раствор солей хлоридов магния и стронция. Оценки резонансных частот осуществлялись на основании теоретической работы [2].

Цель работы – исследование процессов электроиндуцированного дрейфа гидратированных радиоактивных ионов ^{84}Sr и ^{132}Ba в водном растворе хлоридов стронция и бария под действием асимметричного электрического поля.

В работе представлены результаты экспериментов по разделению смеси гидратированных радиоактивных ионов ^{84}Sr и ^{132}Ba методом направленного селективного дрейфа сольватированных ионов под действием внешнего “асимметричного” электрического поля на циркулирующий раствор. Апробированы эксплуатационные характеристики разделительной ячейки. Показано, что возможно при помощи эффекта селективного дрейфа разделять радиоактивные ионы ^{84}Sr и ^{132}Ba . Изучены качественные закономерности частотной зависимости содержания ионов ^{84}Sr и ^{132}Ba в смеси их хлоридных растворов. В последующем планируется изучение количественных закономерности частотной зависимости и определение коэффициента разделения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li Hongda , Kazaryan M. A. , Shamanin I. V. , Timchenko S. N. , Ushakov I. A. Electroinduced drift of solvated ions in salt solution of Ce and Ni // Journal of Chemical Physics. - 2018 - Vol. 130 - №. 8, Article number 111. - pp. 1-6.
2. V. Shamanin, M. A. Kazaryan, S. N. Timchenko, I. A. Ushakov Mechanistic models of the ion-solvation shell system// [Bulletin of the Lebedev Physics Institute](#) -2017 – vol. 44 -iss. 9. – pp. 254–257.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРЕЙФА ДИПОЛЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Ушаков И.А., Бутов В.Г., Тимченко С.Н.

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

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

E-mail: jiaozu@tpu.ru

Основной причиной малого практического использования обнаруженного явления селективного дрейфа [1] является недостаток теоретического обоснования влияния частот асимметричного электрического поля на эффективность процессов разделения ионов различных металлов щелочной группы в движущихся растворах [2]. В данной работе проведено сравнение ряда экспериментов по возбуждению явления селективного дрейфа гидратированных ионов под действием внешнего “асимметричного” электрического поля на движущийся водный раствор солей хлоридов бария и стронция с математической моделью процесса движения ионов под действием асимметричного электрического поля. Математическое моделирование процесса селективного дрейфа гидротированных ионов [1] различных металлов в водном растворе хлоридов этих металлов под действием внешнего периодического электрического поля является одним из важных аспектов его практического применения, так как позволяет существенно сократить объем необходимых экспериментальных исследований для нахождения оптимальных параметров процесса. Разработана одномерная модель движения сольватированных ионов под действием внешнего периодического электрического поля. В основу модели положено предположение о возможности разделения вращательной и поступательной компонент движения поляризованной системы гидратированных ионов. Поляризация и следовательно, деформация электронной оболочки приводит в конечном счете к образованию системы, подобной системе двух связанных разноименно заряженных ионов. Поляризованный аквакомплекс может образовать две системы, отличающиеся массами положительной части и следовательно, точкой расположения центра инерции диполя. Система ион-сольватная оболочка представлена в виде диполя, где ион представляет собой сплошной шар. Основу модели составляет уравнение движения центра масс системы ион-сольватная оболочка:

$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = p \cdot \frac{\partial E}{\partial x} \cdot \cos\alpha,$$

где M – масса системы, x – координата движения системы, t – время, p – дипольный момент, E – напряженность поля.

$$I \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2} = r \cdot p \cdot \frac{\partial E}{\partial x} \cdot \cos\alpha,$$

где I – момент инерции, α – угол поворота диполя, t – время, r – расстояние между центром масс системы и сольватной оболочкой, p – дипольный момент, E – напряженность поля.

Рассматривали, что на данный диполь действует напряженность электрического поля распределенного по радиусу разделительной ячейки:

$$E(r, t) = \begin{cases} 0, & 0 \leq r < R_1 \\ \frac{U(t)}{\ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \ln \frac{R_3}{R_2} + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_3} \cdot \ln \frac{R_4}{R_3}} \cdot \frac{1}{r}, & R_1 \leq r < R_2 \\ \frac{U(t)}{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1} + \ln \frac{R_3}{R_2} + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_3} \cdot \ln \frac{R_4}{R_3}} \cdot \frac{1}{r}, & R_2 \leq r < R_3 \\ \frac{U(t)}{\frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_1} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2} \cdot \ln \frac{R_3}{R_2} + \ln \frac{R_4}{R_3}} \cdot \frac{1}{r}, & R_3 \leq r < R_4 \\ 0, & r \geq R_4 \end{cases}$$

Где $\varepsilon_1, R_1, \varepsilon_2, R_2, \varepsilon_3, R_3$ – диэлектрическая проницаемость и геометрические радиусы первого изолятора электрода №1, раствора, второго изолятора электрода №2 соответственно, $U(t)$ изменение напряжения на электродах от времени. При помощи разработанной модели движения ион-сольватная оболочка под действием асимметричного электрического поля получены результаты расчетов траекторий движения двухвалентных сольватированных ионов под действием внешнего периодического электрического поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Shamanin, M. A. Kazaryan, S. N. Timchenko, I. A. Ushakov Mechanistic models of the ion-solvation shell system// [Bulletin of the Lebedev Physics Institute](#) -2017 – vol. 44 -iss. 9. – pp. 254-257.
2. Li Hongda , Kazaryan M. A. , Shamanin I. V. , Timchenko S. N. , Ushakov I. A. Electroinduced drift of solvated ions in salt solution of Ce and Ni // *Journal of Chemical Physics*. - 2018 - Vol. 130 - №. 8, Article number 111. - pp. 1-6.

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАСТВОРА РАДОНА В ВОДЕ И ОРГАНИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

Пластун С.А., Черепнев М.С., Ерунцов В.В.

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

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

E-mail: [nkvdslawa@gmail.com](mailto:nkvdslaw@gmail.com)

Индикаторные методы исследования с помощью радиоактивных изотопов нашли широкое применение в различных областях науки, техники, медицины, геологии и т.д. Основные достоинства этих методов – простота реализации, высокие чувствительность и точность. Одним из наиболее эффективных индикаторов является радиоактивный газ радон – 222. В соответствии с нормативными документами радиационной безопасности Российской Федерации допускается использование водных растворов радона в медицине и геофизических исследованиях [1,2]. Например, на основе растворов радона разрабатываются инновационные технологии индикаторных методов исследования нефтегазоносных скважин [3,4]. Целью данной работы являлось создание установки для получения водного раствора радона с активностью несколько сотен Бк·л⁻¹.

В качестве источника радона в установке использованы кремниевые и кварцевые породы, содержащие металлические включения урана-238. Дроблёную породу массой ~45 кг поместили в пластмассовые контейнеры объёмом 2.2 л (150 мм высота и 165 мм диаметр), в крышках которых по схеме «паутины» были проделаны отверстия диаметром 2 мм для обеспечения выхода газа радона-222. Пластмассовые контейнеры слоями поместили в герметичную стальную бочку объёмом 200 л (860 мм высота и 590 мм диаметр) с толщиной стенок 1.4 мм и со съёмным верхним дном; всего в объёме генератора было размещено 32 контейнера в 4 слоя. Внутреннюю поверхность бочки покрасили в два слоя гидрофобным покрытием на основе битума. Для измерения объёмной активности радона в воздухе генератора и в дистиллированной воде использован радиометр Rad7.

Коэффициент растворимости радона в воде составляет 0.25, следовательно, для получения водных растворов с активностью в несколько кБк·л⁻¹ активность радона в объёме генератора должна составлять несколько МБк·м⁻³. Измерения активности радона в объёме генератора показали, что для достижения такой активности время накопления радона в объёме данной установки должно составлять не менее 6 суток.

Получение водного раствора радона с активностью несколько сотен Бк·л⁻¹ можно обеспечить при определенных условиях прокачки радона через емкость с водой, так как зависимость объёмной активности водного раствора радона от времени и скорости барботажа характеризуется наличием максимума. Для выбранной конструкции генератора радона объёмная активность радона в воде порядка нескольких кБк·л⁻¹ достигается при скорости барботажа 0.05 л·мин⁻¹ за 70 мин.

На основе проделанной работы сделаны следующие выводы:

1. Урановая руда массой ~45 кг, состоящая из фракций 15...30 мм, позволяет за несколько суток получить в генераторе объёмом 200 л активность радона порядка нескольких МБк·м⁻³.
2. Зависимость максимального значения объёмной активности водного раствора радона от времени и скорости барботажа характеризуется наличием максимума.
3. Для выбранной конструкции генератора радона максимальная объёмная активность радона в воде 3кБк/л достигается при скорости барботажа 0.05 л·мин⁻¹ за 70 мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.0.002-80. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения.
2. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ Опасные и вредные факторы. Классификация. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 1997 г.
3. Киляков В.Н, Солодовников Ю.И. Геоэкологическая оценка радонового индикаторного метода для исследований нефтегазовых скважин // Промышленная безопасность. – 2006. - №6, стр. 80-89.
Делия С.В., Якубовский С.Ю., Воронцова И.В., Киляков В.Н., Федотов И.Б. Разработка оптимального комплекса методов промысловой геофизики для исследования обводняющихся скважин на примере действующего фонда месторождений ООО «Лукойл-Нижневожскнефть» // Промышленная безопасность. – 2006. - №6, стр. 16-28.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ПОРОД НА ВЫХОД РАДОНА С ИХ ПОВЕРХНОСТИ

Ставицкая К.О., Рыжакова Н.К., Удалов А.А.

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

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

E-mail: shilovaxeniya@gmail.com

Перед строительством зданий и сооружений проводят радиационно-экологические исследования участков застройки, включающие в себя оценку радоноопасности [1-3]. В нашей стране критерием радоноопасности служит измеряемая на земной поверхности величина плотности потока радона (ППР), критическое значение которой для жилищного строительства составляет $80 \text{ мБк}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ [4]. Основным источником поступления радона и продуктов его распада в здания являются породы, залегающие в основании фундамента [5,6]. Целью данного исследования является изучение выхода радона с поверхности пород разного типа.

Измерения плотности потока радона проводили в весенне-летний период 2018г на трех экспериментальных площадках г.Томска (район Лагерного сада) и семи площадках Горно-Алтайска, с помощью прибора Альфарад Плюс. В Томске плотность потока радона измеряли на террасе р.Томь. Было выбрано три экспериментальные площадки, характеризующиеся разными типами грунтов: суглинки, глина и сланцы. Измерения плотности потока радона в Горном Алтае провели в долине реки Маймы, в долине реки Катунь, Горно-Алтайске и Кызыл-Озеке на песчано-гравийных отложениях, скалах, андезито-базальтовом порфирите и кварцитах.

При проведении исследований в Томске было получено 64 результата измерений плотности потока радона на поверхности трех типов грунтов: на поверхности суглинистой почвы - 30; на поверхности сланцев - 21; на поверхности глины - 13. Для суглинистой почвы получено типичное для этого вида почвогрунтов среднее значение равное $44 \text{ мБк}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$, а среднее значение ППР для глин ($59 \text{ мБк}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$) почти в два раза больше, чем для сланцев ($33 \text{ мБк}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$).

При проведении исследований в Горном Алтае получено 70 результатов измерений плотности потока радона на поверхности семи типов породы. На песчано-гравийно галечных отложениях (3 терраса) - 9 измерений; песчано-гравийно галечные отложения (2 терраса) - 12 измерений; песчано-гравийно галечные отложения (1 терраса) - 10 измерений; скальный известняк - 4 измерения; скалы - 10 измерений; андезитно-базальтовый порфирит - 17 измерений; кварцит - 14 измерений. Результаты, полученные в Горном Алтае, характеризуются повышенными значениями плотности потока радона - $115 \text{ мБк}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1} \dots 807 \text{ мБк}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$. Наибольшие средние значения характерны для кварцита (метаморфическая горная порода) и порфирита (магматическая горная порода). Высокие значения плотности потока радона, наблюдаемые в Горном Алтае, объясняется высоким содержанием радия в горных породах [7].

Анализ полученных в работе данных показывает, что выход радона с поверхности существенным образом зависит от типа грунтов. Обнаруженная зависимость средних значений ППР от типа грунта может быть использована при оценках радоноопасности территорий застройки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Neznal M., Neznal M., The new method for Assessing the Radon Risk of Building Sites // Czech Geological Survey Special Papers. -2004. Vol.16. -P. 7-47.
2. Katalin Zsuzsanna Szabó, Dynamics of soil gas radon concentration in a highly permeable soil based on a long-term high temporal resolution observation series, / Katalin Zsuzsanna Szabó [et al.] //Journal of Environmental Radioactivity. -2013. Vol. 124. -P. 74-83.
3. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства «Инженерно-экологические изыскания строительства» СП 11-102-97. М.: Госстрой России, 1997.
4. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ - 99), СП 2.6.1.799-99, Минздрав РФ, 2000
5. Рыжакова Н. К., Ставицкая(Шилова) К. О. , Удалов А. А. Проблемы оценки потенциальной радоноопасности участков застройки = Issues in assessment of potential radon hazard at building sites // Радиационная гигиена = Radiatsionnaya Gygiena. - 2018 - Т. 11 - №. 2. - С. 37-44.
6. Рыжакова Н.К., Шилова К.О., «Способ оценки радоноопасности участков застройки» Пат.№2656131 от 31.05.2018 Бюл.№16.
7. Михайленко Я.И. Курс общей и неорганической химии, Изд. «Высшая школа», Москва-1966г.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА

Верхорубов Д.Л.,¹ Видяев Д.Г.,² Козлов С.Е.,² Шредер А.С.²

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

¹ООО «Лифорс», 634050, Россия, г. Томск, ул. Вавилова, 10а

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

E-mail: ozushnik@gmail.com

Известно, что термин «тяжелая вода» применяют к воде, у которой легкий атом, чаще водорода, заменен более тяжелым. Различают тяжелую воду, в которой дейтерий замещает протий и сверхтяжелую воду, которая содержит тритий. Так же выделяют тяжело-кислородную воду, в которой атомы кислорода O^{16} заменены более тяжелыми изотопами O^{17} и O^{18} .

Тяжелая вода нашла широкое применение в атомной отрасли в качестве теплоносителя и замедлителя нейтронов в тяжеловодных реакторах. Кроме того, перспективно использование тяжелой воды в качестве источника получения дейтерия для термоядерного синтеза [1].

В настоящее время, несмотря на то, что создано несколько промышленных методов получения тяжелой воды, ее рыночная стоимость, обусловленная высокими энергозатратами и дефицитом на рынке, остается высокая. Так, стоимость килограмма D_2O с концентрацией 99,9% достигает 72000 рублей [2]. В связи с этим остаются актуальными работы направленные на поиск новых ресурсоэффективных методов разделения изотопов водорода и оптимизацию существующих.

Анализ литературных данных по способам промышленного разделения изотопов водорода показал, что основными современными методами разделения изотопов водорода являются ректификация воды и химический изотопный обмен в (ХИО) системе вода-водород. Поэтому, цель данной работы состояла в определении и анализе основных параметров работы установок для разделения изотопов водорода методом ректификации воды и ХИО в системе вода-водород.

В процессе выполнения работы была отработана методика расчета основных параметров установки изотопного обмена и проведен расчет для двух типов разделительных установок. В результате исследований определены зависимости высоты эквивалентного теоретической ступени (ВЭТС) от удельного потока, диаметра и размера насадки в колонне, а также определены степень разделения, число равновесных ступеней и высота колонны, необходимая для получения заданной концентрации.

Анализ расчетных данных показал, что при разделении изотопов водорода методом ректификации значение пропускной способности колонны значительно превышает соответствующую величину для колонны химического изотопного обмена. Показано, что независимо от величины потоков или диаметра колонны, величина ВЭТС при ХИО в системе вода-водород примерно на порядок выше ВЭТС для ректификации воды.

Кроме того, была рассчитана стоимость одного метра рабочей насадочной части колонн исходя из стоимости катализатора и насадки. Она составила 113076,98 рублей для колонны ХИО и 8820 рублей для ректификационной колонны.

Таким образом, на основании сопоставления параметров работы колонн для ректификации и химического изотопного обмена показано, что наиболее целесообразным представляется использование для разделения изотопов водорода метода ректификации.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании установки для разделения изотопов водорода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Б.М. Зельвенский ЯД., Катальников С.Г. Тяжелые изотопы водорода в ядерной технике. – М.: Энергоатомиздат. 1987. – 456 с.
2. Интернет-магазин Кемстор. Тяжелая вода [Электронный ресурс]. URL: <https://chemstore.spb.ru/catalog/deyterosoedineniya/voda-tyazhelaya-d2.html> (дата обращения: 01.10.2018).

ПОДГОТОВКА ПРЕСС-ПОРОШКОВ ПРИ ФАБРИКАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТАБЛЕТКИ

Акимов В.Н.¹, Борецкий Е.А.¹, Видяев Д.Г.¹, Савостиков Д.В.²

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

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

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 40

E-mail: eboretsky@mail.ru

Углерод, часто в прессованном виде, благодаря развитой удельной поверхности и регулируемой пористости широко используется в качестве сорбентов для очистки воды и воздуха, а также для разделения и сорбции газов, в различных отраслях промышленности [1].

Важным этапом при фабрикации мелкодисперсных материалов в таблетки является стадия изготовления пресс-порошков, которая включает смешивание компонентов, введение временной технологической связки и создание формовочной массы с заданной структурой и свойствами [2].

Данная работа посвящена рассмотрению особенностей подготовки пресс-порошков для фабрикации углеродных таблеток с различной пористостью за счет добавления в состав порошков разного количества пластификаторов.

С учетом планируемых экспериментов предполагалось использование четырех видов порошков, в зависимости от наличия пластификатора – стеарата натрия или никкиля, процентный и массовый состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Массы смесей с учетом всех планируемых экспериментов

Номер смеси	Состав смеси	Масса углерода + масса пластификатора, г
1	С	3,6 + 0
2	С + 3 % пластификатора	3,49 + 0,11
3	С + 5 % пластификатора	3,42 + 0,18
4	С + 7 % пластификатора	3,35 + 0,25

Перемешивание проводили с использованием связки и без нее. В качестве технологической связки, для лучшего перемешивания, был выбран этиловый спирт, так как имеет высокую скорость испарения.

Подготовку пресс-порошков для перемешивания при использовании связки проводили следующим образом:

– руководствуясь таблицей 1 для каждой смеси подготовили углерод и пластификатор заданной массы;

– углерод смачивали этиловым спиртом до получения однородного раствора;

– в получившийся раствор добавляли пластификатор.

После перемешивания, остатки органики удалялись путем прокаливания пресс-порошка при температуре ниже температуры плавления пластификатора.

Проведенные исследования показали, что распределение пластификатора в смеси без технологической связки происходит менее равномерно, чем при ее использовании, независимо от длительности перемешивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русьянова Н.Д. Углекислота. – М.: Наука, 2003. – 316 с.
2. Особенности применения наноразмерных порошков углерода и хрома на процессы подготовки шихты и прессования порошковых сталей / Еремеева Ж.В., Ниткин Н.М., Шарипзянова Г.Х. // Известия МГТУ «МАМИ». – 2011. – №2(12). – с. 123–127.

ПОЛУЧЕНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРА ДЛЯ ТАБЛЕТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Борецкий Е.А., Дмитриев В.В., Цветков А.Д.

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

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

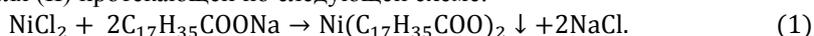
г.Томск, пр. Ленина, 40

E-mail: eboretsky@mail.ru

При фабрикации в таблетки технического углерода, применяемого, в частности, в качестве сорбента для разделения и сорбции газов, для регулирования его удельной поверхности и пористости используют различные пластификаторы.

В планируемых нами экспериментах предполагалось использовать два вида пластификатора – стеарата натрия и никеля. В виду отсутствия в нашем распоряжении стеарата никеля требуемой для опытов степени чистоты, были проведены эксперименты по его синтезу.

Получение стеарата никеля [1] проводилось с использованием обменной реакции между стеаратом натрия и хлоридом никеля (II) протекающей по следующей схеме:



В результате предварительных расчетов было установлено, что для проведения эксперимента необходима масса стеарата никеля 0,54 г. Исходя из уравнения 1 массы реагентов (хлорида никеля и стеарата натрия) должны иметь соотношение 1:2 соответственно. Молярная масса стеарата натрия 306,46 г/моль; молярная масса хлорида никеля (II) – 237,59 г/моль для гексагидрата $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Долю хлорида никеля (II) в гексагидрате можно определить по формуле:

$$\theta = \frac{M(\text{NiCl}_2)}{M(\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})}, \quad (2)$$

где $M(\text{NiCl}_2)$ – молярная масса хлорида никеля (II), г/моль; $M(\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ – молярная масса гексагидрата, г/моль.

Получаем:

$$\theta = \frac{129,59}{237,59} = 0,545.$$

Таким образом, в гексагидрате $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ содержится 54,5 % хлорида никеля.

Массы продуктов реакции определяются следующим образом:

$$m(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}) = \frac{2 \cdot M(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa})}{n}, \quad (3)$$

где $m(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa})$ – масса стеарата натрия, г; $M(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa})$ – молярная масса стеарата натрия, г/моль; n – коэффициент изменения массы ($n = 480$).

$$m(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}) = \frac{2 \cdot 306,46}{480} = 1,277 \text{ г.}$$
$$m(\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = \frac{M(\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})}{n}, \quad (4)$$

где $m(\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ – масса гексагидрата хлорида никеля (II), г; $M(\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ – молярная масса гексагидрата хлорида никеля (II), г/моль; n – коэффициент изменения массы ($n = 480$).

$$m(\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = \frac{237,59}{480} = 0,495 \text{ г,}$$

Учитывая долю хлорида никеля (II) $\theta = 0,545$ в массе гексагидрата можно определить массу хлорида никеля (II)

$$m(\text{NiCl}_2) = \frac{m(\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \cdot 100 \%}{\theta}, \quad (5)$$
$$m(\text{NiCl}_2) = \frac{0,495 \cdot 100 \%}{54,5 \%} = 0,908 \text{ г.}$$

Реакция осуществлялась следующим образом: в нагретую дистиллированную воду добавлялся стеарат натрия и перемешивался, а затем добавляли раствор хлорида никеля. После окончания перемешивания раствор фильтровался и промывался горячей дистиллированной водой.

В результате проведенных исследований было получено заданной количество стеарате никеля требуемой чистоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nickel (II) stearate [Электронный ресурс] / Sigma-Aldrich – Режим доступа: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/544191?lang=en®ion=RU>, свободный. (Дата обращения 26.04.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ СПЛАВОВ НА РАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕГИРУЮЩЕЙ ПРИМЕСИ ПРИ НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННОМ ЛЕГИРОВАНИИ КРЕМНИЯ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ КАНАЛЕ РЕАКТОРА ИРТ-Т

Смольников Н.В., Лебедев И.И., Аникин М.Н.

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

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

E-mail: nvs38@tpu.ru

В настоящее время существует три основных способов легирования кремния для производства полупроводниковых приборов: ионная имплантация, термодиффузия и нейтронно-трансмутационное. Ионная имплантация позволяет вводить практически любую примесь и контролировать ее концентрацию и профиль распределения. Однако, в процессе легирования могут возникать точечные дефекты структуры. Термодиффузионное легирование, в свою очередь, осуществляется за счет процесса диффузии легирующего компонента при высокой температуре (1100-1300 °С) в течение длительного времени, что приводит к генерации значительного количества дефектов. Нейтронно-трансмутационное легирование (НТЛ) в отличие от вышеприведенных способов позволяет получать слитки с высокооднородным распределением легирующей примеси во всем объеме. На реакторе ИРТ-Т осуществляется нейтронно-трансмутационное легирование кремния в горизонтальном экспериментальном канале диаметром 150 мм со средней плотностью потока тепловых нейтронов $4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. При этом концентрация введенной примеси определяется формулой 1 [1].

$$N = \left(\frac{\sqrt{\pi}}{2}\right) \cdot \varphi \cdot t \cdot \sum_{i=1}^n N_i \cdot \sigma_o^i \quad (1)$$

Здесь N_i — концентрация изотопа, участвующего в ядерной трансмутации, $\text{яд} \cdot \text{см}^{-3}$; σ_o^i — соответствующее для него сечение поглощения теплового нейтрона, см^{-2} ; φ — плотность потока нейтронов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, t — время облучения, с; $\sqrt{\pi}/2$ — получается из усреднения по спектру Максвелла нейтронного потока.

К 2020 году на реакторе ИРТ-Т планируется размещение вертикального экспериментального канала в графитовой призме со средней плотностью потока тепловых нейтронов $1,4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ для легирования слитков кремния большого диаметра (до 204 мм). Помимо использования канала для слитков большого диаметра планируется легирование в канале нескольких слитков меньшего диаметра, способ размещения которых приведен на рисунке 1.

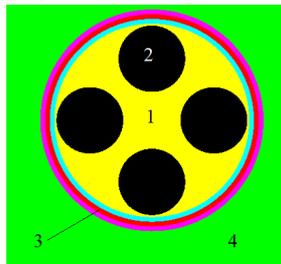


Рисунок 1 – Размещение слитков кремния диаметром 65 мм в ВЭКе реактора ИРТ-Т:

1–вода; 2–кремний; 3–алюминиевая оболочка; 4– графит;

В связи с тем, что вода поглощает большое количество тепловых нейтронов, что приведет к неравномерному легированию слитков, поэтому планируется рассмотрение варианта с заменой воды на высокопроводящие металлы или их сплавы для увеличения числа тепловых нейтронов. Для проведения исследования, в качестве металлов, обладающих высокой теплопроводностью, были выбраны медь, алюминий, и их сплавы, содержащие не менее 80% основного металла.

Исследование проводилось с использованием программы MCU, в которой была создана модель активной зоны реактора со всеми экспериментальными каналами, полностью соответствующая текущей активной зоне реактора ИРТ-Т. В модели реактора производился нейтронно-физический расчет с заменой воды на материалы, указанные выше, после чего осуществлялось сравнение полученных результатов и определение наиболее подходящего материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Meese J.M. (Ed.) Neutron Transmutation Doping in Semiconductors. New York: Plenum, 1979. (Пер.: Нейтронное трансмутационное легирование полупроводников. М.: Мир, 1982. С. 264).

ПРОЦЕСС НАРАБОТКИ SM-153 НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т И ЕГО ОПТИМИЗАЦИЯ

Беляев В.В.

Научный руководитель: Аникин М.Н., ассистент ОЯТЦ
Томский политехнический университет, 634030, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bringdown921@gmail.com

В настоящее время трудно найти отрасль науки, техники, промышленности, сельского хозяйства и медицины, где бы не применялись источники радиоактивности (радиоактивные изотопы).

Искусственные и естественные радиоактивные изотопы – мощный и тонкий инструмент для создания чувствительных способов анализа и контроля в промышленности, уникальное средство для медицинской диагностики и лечения злокачественных опухолевых заболеваний, эффективное средство воздействия на различные вещества, в том числе органические.

Радиоактивные изотопы получают с помощью двух технологий: на ускорителях и на реакторах. В данной работе был изучен процесс наработки Sm-153 на реакторе ИРТ-Т и его оптимизация, с помощью программного обеспечения MCU.

Данный β -излучающий изотоп нашел наиболее широкое применение в медицине в рамках радионуклидной терапии для лечения костных метастазов. Это обусловлено способностью Sm-153 к избирательному накоплению в патологических очагах с усиленной минерализацией и повышенным метаболизмом костной ткани. Локальное «внутреннее» облучение β -частицами в равной степени воздействует как на манифестирующие, так и на субклинические очаги костной деструкции, что позволяет достичь редукции опухолевой инфильтрации и обеспечить обезболивание.

В основе технологии получения Sm-153 на реакторах лежит реакция радиационного захвата.

Крупнейшим производителем и поставщиком данного радионуклида в России является АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» г. Обнинск.

С помощью программного обеспечения MCU была разработана активная зона ИРТ-Т. Образцы высотой 5 см и диаметром 2,75 см были помещены в вертикальные экспериментальные каналы.

Для оптимизации расположения канала для облучения самария были проведены расчеты потоков и скоростей реакции радиационного захвата в ВЭК-2 и ВЭК-5. Расчет плотностей потока нейтронов рассчитывался для тепловых нейтронов с энергией от 0,025 до 0,625 эВ.

Исходя из результатов расчета можно сделать вывод, что наиболее высокая плотность потока тепловых нейтронов наблюдалась в канале, находящимся ближе к активной зоне, а также, что наибольшая скорость реакции поглощения ¹⁵²изотопом наблюдается в центре канала по высоте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Varlachev V A, Glukhov G G and Skuridin V S 2011 Research Nuclear Reactor IRT-T, Tomsk Polytechnic University (Tomsk:TPU Press).
2. Герасимов А.С., Зарицкая Т.С., Рудик А.П. Справочник по образованию нуклидов в ядерных реакторах Москва, Энергоатомиздат, 1989. –504 с.
3. Соболев И. М. Метод Монте-Карло. — М.: Наука, 1968. — 64 с.
4. Левие В.И. Получение радиоактивных изотопов. М., 1972 с.183.

СОДЕРЖАНИЕ Ra-226 В 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

Инертный радиоактивный газ Rn-222 образуется в результате распада Ra-226, содержащегося в почво-грунтах и породах. Выделяясь из грунтов и пород, расположенных в основании фундаментов зданий, он может накапливаться в помещениях, так как период полураспада Rn-222 достаточно большой (3.8 дня). Большие концентрации радона в воздухе помещений являются потенциально опасными для здоровья человека. В связи с этим перед строительством зданий и сооружений проводят радиационно-экологические исследования, включающие в себя оценку радоноопасности участков застройки [1,2]. В некоторых странах Европы и Америки одним из основных критериев радоноопасности является содержание Ra-226 в подстилающих основание фундамента породах[3]. Целью данного исследования является изучение и сравнительный анализ содержания радия в породах разного типа, характерных для г. Томска и Горного Алтая.

Отбор образцов пород проводили в весенне-летний период 2018г на трех экспериментальных площадках г. Томска (район Лагерного сада) и семи площадках Горного Алтая. В Томске образцы отбирали на террасе р. Томь. Было выбрано три площадки, характеризующиеся разными типами пород: суглинки, глина и сланцы. Отбор образцов в Горном Алтае провели в долине реки Маймы, в долине реки Катунь, Горно-Алтайске и Кызыл-Озеке на песчано-гравийных отложениях, скалах, андезитобазальтовом порфирите и кварцитах. Масса отобранных образцов составляла от 300 гр. до 1.5 кг.

Удельную активность Ra-226 измеряли в геометрии сосуда "Дента" (усеченный конус) с объемом 250 мл с помощью γ -спектрометра на базе полупроводникового детектора из сверхчистого германия (CANBERRA GC2018) с разрешением 1.85 кэВ для энергии 1.33 МэВ и 0.85 кэВ для энергии 122 кэВ (калибровка проведена по источнику Eu-152 с насыпной плотностью 1 г/см³). Измерения проводили в условиях радиоактивного равновесия по наиболее интенсивным линиям дочерних продуктов распада радона – Pb-214 (295.21; 351.92 кэВ) и Bi-214 (609.32 кэВ). Перед измерением грунты тщательно высушивали (при температуре более 100С⁰) и измельчали. Время выдержки герметично закрытых сосудов составляло две – три недели, время измерения одного образца – 1 сутки; статистическая погрешность измерений не превышала 15%. Для обработки аппаратурных гамма-спектров использована программа CANBERRA «Genie-2000».

Удельная активность Ra-226 в породах, характерных для г. Томска, составляет: в суглинках - 30 Бк·кг⁻¹, в сланцах - 160 Бк·кг⁻¹ и в глине - 190 Бк·кг⁻¹; соответствующие значения плотности потока радона равны: 38 мБк·м⁻² ·с⁻¹, 34 мБк·м⁻² ·с⁻¹ и 56 мБк·м⁻² ·с⁻¹. Удельная активность радия в образцах пород, отобранных в Горном Алтае, находится в сравнительно небольшом диапазоне - 140 Бк·кг⁻¹...200 Бк·кг⁻¹. Однако, диапазон значений плотности потока радона, измеренных на поверхности этих пород, значительно шире - 110 мБк·м⁻² ·с⁻¹ ...810 мБк·м⁻² ·с⁻¹. Сравнивая полученные значения плотности потока радона и содержания радия для двух территорий, можно с уверенностью сделать вывод о том, что однозначной зависимости между удельной активностью радия и количеством радона, выделяющегося на поверхность пород, не наблюдается. Данный вывод ставит под сомнение возможность использования удельной активности Ra-226 в качестве единственного критерия радоноопасности территории застройки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства «Инженерно-экологические изыскания строительства» СП 11-102-97. М.: Госстрой России, 1997.
2. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99), СП 2.6.1.799-99, Минздрав РФ, 2000.
3. Рыжакова Н. К., Ставицкая(Шилова) К. О. Удалов А. А. Проблемы оценки потенциальной радоноопасности участков застройки = Issues in assessment of potential radon hazard at building sites // Радиационная гигиена = Radiatsionnaya Gygiena. - 2018 - Т. 11 - №. 2. - С. 37-44

Секция 5

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

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

ПОЛУЧЕНИЕ КОЛЛОИДНОГО ГЕПТАСУЛЬФИДА РЕНИЯ ДЛЯ РАДИОИЗОТОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

Гусева Д.В.

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

Радиоизотопы широко используются для проведения диагностических исследований в различных областях медицины. В настоящее время одним из наиболее важных применений γ -излучающих частиц является визуализация сторожевых лимфоузлов с помощью наружного детектора гамма-излучения. Обнаружение микрометастаз в лимфатических узлах методом радиоизотопной лимфосцинтиграфии с использованием наночастиц, меченных ^{99m}Tc или ^{188}Re , позволяет сократить объем диссекции при удалении первичной опухоли и выполнять органосохраняющие операции при лечении онкологических заболеваний. Оптимальным для диагностики являются коллоидные системы с размером частиц от 20 до 100 нм, которые могут протекать через физиологические капилляры в лимфатические сосуды и лимфоузлы после подкожной инъекции в новообразование.

Наночастицы гептасульфида рения (Re_2S_7) являются рентгеноаморфными и обладают неправильной формой, что позволяет использовать их в качестве объекта ультрафагоцитоза. Существует два метода получения Re_2S_7 : а) путем осаждения из кислых растворов перренатов сероводородом; б) обменной реакцией перренатов с тиосульфатами в кислой среде. Нами разрабатывается новый способ получения наночастиц Re_2S_7 . В основе способа лежит облучение водных растворов NaReO_4 и $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ УФ-излучением. Изучение взаимодействия NaReO_4 с $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ при УФ-облучении проводили с использованием соединений, имеющих природный изотопный состав.

Целью работы является изучение синтеза наночастиц Re_2S_7 при УФ-облучении водных растворов, содержащих NaReO_4 и $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Максимальное окрашивание в облученном растворе достигается при смешении 0,1 моль/л NaReO_4 и 0,1 моль/л $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ в объемном соотношении 1:47. При УФ-облучении в течение 10 мин в электронном спектре происходит появление поглощения в области 300–700 нм с максимумами ~415 нм и ~475 нм, при этом раствор окрашивается в светло-коричневый цвет. Увеличение времени облучения приводит к росту оптической плотности фотолита, но не приводит к выделению дисперсной фазы. Это указывает, что в процессе фотолитиза образуются коллоидные частицы устойчивые к коагуляции.

Размеры и морфология полученного фотохимическим способом коллоидного Re_2S_7 была изучена методами электронной спектроскопии и лазерной дифракции. Электронные микрофотографии и диаграммы распределения наночастиц Re_2S_7 показывают, что в начальный момент времени (от 1 до 3 мин) в растворе происходит формирование коллоидных частиц, имеющих сферическую форму и размеры от 20 до 100 нм. Исследование полученного осадка методом рентгенофазового анализа показало, что осадок состоит из элементной серы. Поэтому был сделан вывод о том, что вещество, отвечающее за окрашивание элементной серы в коричневый цвет, является рентгеноаморфным.

Спектры рентгенофлуоресцентного анализа показывают, что осадок помимо серы содержит рений.

Облучение 0,1 моль/л водного раствора NaReO_4 не приводит к его фотолитизу. Следовательно, образование Re_2S_7 в водном растворе происходит при взаимодействии иона ReO_4^- с продуктами фотолитиза $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Из литературы известно, что УФ-облучение водных растворов $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ приводит к образованию элементной серы, сульфита и сероводорода (H_2S). Это позволяет предположить, что образование Re_2S_7 может происходить в результате реакции:



На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что при УФ-облучении водных растворов NaReO_4 и $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ происходит образование наночастиц Re_2S_7 , которые могут быть использованы в качестве диагностического средства для лимфосцинтиграфии.
2. С увеличением времени фотолитиза возрастает не только концентрация наночастиц Re_2S_7 , но и их средний диаметр. Установлено, что в момент времени (от 1 до 3 мин) происходит формирование сферических частиц Re_2S_7 размером от 20 до 100 нм.
3. Предположена схема образования Re_2S_7 из водных растворов, содержащих NaReO_4 и $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.
4. Предложен новый способ получения наночастиц Re_2S_7 с использованием УФ-облучения водных растворов NaReO_4 и $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, который отличается от известных способов, тем, что позволяет регулировать скорость реакции образования наночастиц Re_2S_7 и осуществлять контроль за их размером.

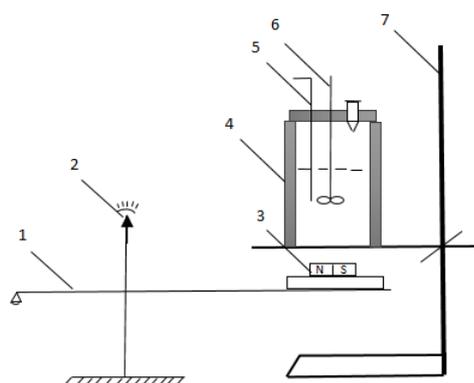


Рис.2. Схема установки регистрации частиц от времени: 1 – весы; 2 – устройство для фиксирования изменения массы от времени; 3 – магнит; 4 – термостатированный аппарат; 5 – датчик температуры; 6 – мешалка; 7 – штатив

Изначально, магнит расположенный на аналитических весах, притягивался к частицам в стакане максимально, но в течение всего процесса взаимодействие магнитного поля магнита с частицами в стакане ослабевало, и масса магнита возрастала, что регистрировалось показаниями весов.

Концентрация суспензии с отходами, в которую добавляли кислоту, составляла 70 г/л. В начальный момент времени показания весов составляли 11,59 г. Далее масса увеличивалась, что показывает влияние времени на полноту вскрытия отходов. Установили, что при 50 °С в сернокислой среде достигается 45%-ное растворение твердой фазы.

Таким образом в работе показано, что подбор условий комплексного выщелачивания сложной многокомпонентной смеси отходов магнитов Nd-Fe-B и Sm-Co возможен.

Полученные данные позволят в дальнейшем изучать параметры химического раздельного осаждения редкоземельных элементов с их последующей очисткой.

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ СМЕСИ ПОРОШКОВ ДИОКСИДОВ УРАНА И ПЛУТОНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ ГРАНУЛЯТА В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МОХ-ТОПЛИВА

Карелин В.А.^{1,a}, Малышев М.С.^{1,b}, Губская М.Л.^{1,c}, Карелина Н.В.^{2,d}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

²Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург, Россия

^avakarelin@tpu.ru, ^bblackraabit@gmail.com, ^cmasha.gubskaya.97@mail.ru, ^dnvkarelina@yandex.ru

В рамках осуществления ФЦП «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 годов и на перспективу до 2020 года» [1], предусматривается развитие атомной энергетики, основанной на замыкании ЯТЦ с реакторами БН. При изготовлении ядерного топлива для реакторов БН можно утилизировать оружейный Pu и выжигать образующиеся долгоживущие актиноиды [2-4]. Поэтому встает задача создания новой технологии изготовления МОХ-топлива.

Получить МОХ-топливо можно несколькими методами: механическим смешиванием готовых порошков диоксидов урана и плутония или получением смеси порошков диоксидов совместным осаждением из их азотнокислых растворов с последующим прессованием в плотные таблетки и их спеканием по технологии виброуплотненного гранулированного материала используя водные или пирохимические методы переработки. В настоящее время широкое развитие получил метод механического смешивания предварительно полученных порошков диоксидов урана и плутония.

Проведенное исследование в области режимов смешивания показывает, что при номинальных режимах предварительного гранулирования этих порошков плотность гранул с размером до 1 мм имеет экспоненциальную зависимость от плотности исходной смеси порошков UO_2 и PuO_2 . При этом при слишком высокой плотности исходного порошка его частицы слипаются, что затрудняет проведение следующей стадии технологического процесса – просеивания гранул через сито. В этом процессе может происходить нарушение механических свойств гранулированного продукта.

Для типового перерабатывающего завода мощностью 1500 т/год установка получения МОХ-топлива должна быть рассчитана на переработку 15 т плутония в год. Свойства получаемого МОХ-топлива должны отвечать следующим требованиям по содержанию примесей, % мас.: Th \leq 0,03; Am \leq 0,25; C \leq 0,25; другие примеси \leq 0,5 (ASTM-standard). Синтезированный порошок МОХ-топлива обладает следующими физическими свойствами: порошок полностью должен проходить через сито № 170 (90 мкм); удельная поверхность частиц \sim 2,5 м²/г; насыпная плотность \sim 8,5 г/см³; средний размер частиц \sim 10-20 мкм. Удельная поверхность порошка МОХ-топлива полностью зависит от удельной поверхности осадка оксалатов U и Pu, поэтому при оксалатном осаждении решающее значение приобретают кислотность исходного раствора, концентрация щавелевой кислоты и скорость ее добавления, скорость перемешивания, валентность Pu, продолжительность и температура процесса осаждения.

В результате выполненных исследований установлено, что при гранулировании плотность смеси порошков U и Pu в среднем увеличивается в 1,5 раза в зависимости от характеристик исходного сырья и режимов его обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт Федеральной целевой программы Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг. и на перспективу до 2020 г.
2. Адамов Е.О., Орлов В.В. Развитие атомной энергетики на базе новых концепций ядерных реакторов и топливного цикла. В сб.: Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях. ФЭИ, Обнинск, 1999. Т. 1, с. 25-32.
3. Poplavskij V.M. Fast reactors (FR). States and prospects // Атомная энергия. – 2004. Т. 96, № 5. – С. 327-335.
4. Reshetnikov F.G. State of development and production of uranium-plutonium fuel for fast reactors // Атомная энергия. – 2001, Т. 91, № 6. – С. 453-458.

ПРИМЕНЕНИЕ ИПХТ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ВАО ПОСЛЕ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ

Карелин В.А.^{1,a}, Тихонов М.А.^{1,b}, Шутова С.К.^{1,c}, Карелина Н.В.^{2,d}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

²Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург, Россия

^avakarelin@tpu.ru, ^bimax927@gmail.com, ^csofisnake@outlook.com, ^dnvkarelina@yandex.ru

В процессе экстракционной переработки ОЯТ реактора на тепловых нейтронах с выгоранием 33 ГВт·сут/т после выдержки топлива в течение 1 года на 1 т ОЯТ образуется: 0,4 т оболочек и конструктивных элементов ТВС с активностью $\sim 1,7 \cdot 10^4$ Ки; 20-1200 л концентратов жидких высокоактивных отходов (ВАО) с активностью $\sim 10^4$ Ки; газовых отходов, содержащих ~ 1 % первоначальной активности топлива; ~ 60 м³ низко- и среднеактивных отходов, содержащих ~ 1 % радиоактивных элементов [1, 2].

Наибольшую сложность представляет утилизация жидких ВАО. На действующих в настоящее время производствах по переработке жидкие ВАО выдерживают в течение определенного периода времени в специальных охлаждаемых емкостях, упаривают до образования осадка солей нитратов, проводят денитрацию, сушку, прокаливание с образованием кальцината, плавление с использованием стеклофритты в керамических плавителях. Полученный расплав охлаждают и отжигают для снятия внутренних напряжений в полученном продукте. Основным недостатком вышеописанной технологии – выход из строя нагревателей керамических печей остекловывания и невозможность их ремонта из-за высокой активности перерабатываемого продукта.

Для устранения этого недостатка предложено использовать принципиально новый индукционный метод нагревания предварительного полученного осадка нитратов ВАО с применением индукционного плавителя с холодным тиглем (ИПХТ). Использование такого аппарата позволяет вести процесс в широком температурном интервале (до 2000 °С) и получать материалы различного химического состава. Особенностью плавителя является образование между расплавом и водоохлаждаемой стенкой слоя частично расплавленной шихты (гарниссажа), что защищает конструкцию от коррозионного воздействия расплава. Активный гидродинамический режим за счет интенсивного конвективного перемешивания обеспечивает быструю гомогенизацию расплава и высокую производительность процесса. Производительность установки (по остеклованному продукту) составила 3100 кг (м²/сут), а удельные энергозатраты – 8-9 кВт·ч/кг. Показано, что в процессе ИПХТ возрастает производительность и падают энергозатраты, если процесс проводят в тигле большого диаметра.

Состав отходящих из установки газов: NO и NO₂ – до 3000 мг/м³, CO – до 50 мг/м³, HCl – 262 (26,2-846) мг/м³, F – 1,32 (0,67-3,44) мг/м³, SO₂ - 132 (25-271) мг/м³. Потери Cs₂O не превышали 30-60 % мас.

В результате выполненных исследований показано, что эффективность ИПХТ осадка нитратов ВАО с большой долей алюминия и железа падает как при увеличении концентрации воды в шламе от 50 до 70 % мас., так и при повышении содержания имитатора высокоактивных отходов в стеклопродукте от 50 до 65 % мас. и более. В продуктах с более 60 % мас. осадка нитратов ВАО появляется нефелин, хотя химическая устойчивость стеклопродукта остается высокой. Поэтому в стеклопродукте рекомендуется ограничить содержание осадка нитратов ВАО до 55-60 % мас. При содержании влаги не более 50 % мас. в загружаемом в ИПХТ шламе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Землянухи В.И., Ильенко Е.И., Кондратьев А.Н. и др. Радиохимическая переработка ядерного топлива АЭС. – М., Энергоатомиздат, 1983. – 232 с.
2. Bericht uber das in der Bundesrepublik Deutschland geplante Enstorgungszentrum fur ausgediente Brennelemente aus Kernkraftwerken. – Hannover: DGWK 1977. – 308 S.

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ОТХОДОВ С СОДЕРЖАНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

Меркель К.И., Греченок Е.Ю., Страшко А.Н.

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

E-mail: Kseniya_2697@mail.ru

Наиболее перспективной отраслью производства редкоземельных металлов является изготовление постоянных магнитов на основе сплавов Nd-Fe-B. Однако, производство самих магнитов – это процесс с большим количеством отходов, которые проще складировать, чем перерабатывать локально на производстве. До 40% магнитного материала теряется вместе с отходами, что представляет огромный интерес к их переработке.

Целью работы являлось изучение процессов разложения редкоземельного техногенного сырья с существенным содержанием смеси редкоземельных металлов.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. исследование процесса выщелачивания от концентрации;
2. исследование процесса выщелачивания от температуры;
3. исследование процесса выщелачивания от времени.

В настоящей работе были использованы отходы с предприятия ОАО «Уралредмет», состав которых был определен с помощью атомно-эмиссионного анализа iCAP 6300 Duo подготовленного стандарта.

Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание элементов в отходах по результатам атомно-эмиссионного анализа

Элемент	Fe	Co	Sm	Nd	Ce	Pr	Er	Dy	Zr	Gd	Tb	Al
Содержание, в %	29,38	25,66	22,21	8,23	6,51	2,71	1,75	1,59	1,33	0,41	0,27	0,28

В качестве вскрывающего реагента были использованы различные минеральные кислоты, а именно: «царская водка», соляная кислота, серная кислота. При растворении отходов в кислотах, было обнаружено выделение значительного количества водорода, что свидетельствует о наличии металлической фазы в отходах. После чего, раствор исследовали при помощи физико-химического анализа. Результаты опыта позволяют произвести выбор подходящего реагента для выщелачивания. Показано, что разница во вскрывающей способности незначительна, но, использование такого реагента, как «царская водка» в промышленных масштабах приводит к затруднениям из-за коррозии. Серная кислота – это одна из самых широко применяемых кислот во многих сферах промышленности, является наиболее доступной и технологичной. В результате чего целесообразно выбрать именно серную кислоту.

Для изучения влияния концентрации на вскрываемость использовалась рекомендованная серная кислота. А именно: 80, 60, 40 и 20 %, при повышенных температурах, для лучшего растворения осадка. В результате были получены следующие данные (рис. 1).

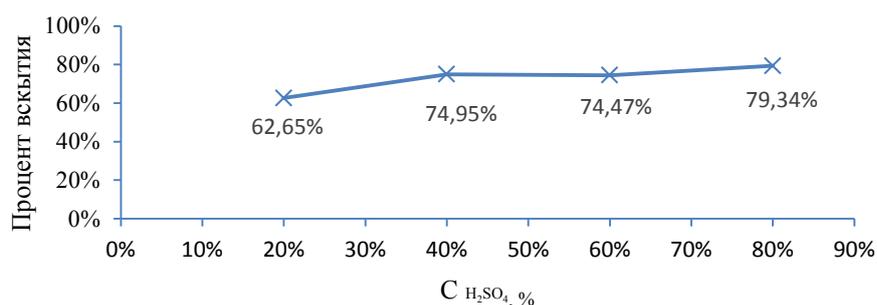


Рис. 1. Зависимость разложения пробы от концентрации

При увеличении концентрации кислоты увеличивается насыщенность раствора. При увеличении концентрации кислоты свыше 50 % не происходит существенного увеличения вскрываемости смеси, но при этом часть компонентов раствора сульфатизируется и выпадает в осадок. Таким образом, можно рекомендовать H₂SO₄ концентрацией 60 %.

Проводились опыты на влияние температуры и времени на процесс разложения отходов.

Определение зависимости растворения отходов от температуры проходило в термостате, где выдерживалась изотермические условия. Время каждого эксперимента составляло 10 мин, а

температуры были 30 °С, 40 °С, 60 °С, 70 °С и комнатная температура (20 °С). В качестве вскрывающего реагента была выбрана 98 % серная кислота, а начальная масса навески составляла 2 г.

В результате данного опыта были получены различные массы отходов. Так, при 20 °С масса осадка составила 1,1 г, при 30 °С – 1,2 г, при 40 °С – 1 г, а при 60 °С и 70 °С – 0,6 г. При высоких температурах процесс разложения протекает наиболее полно. Поэтому для данного процесса 90 °С является достаточно подходящей температурой.

Установка для исследования выщелачивания от времени состояла из: термостатированного аппарата с раствором пробы, штатива, мешалки, магнита, весов, датчика температуры и устройства для фиксирования изменения массы от времени (рис. 2).

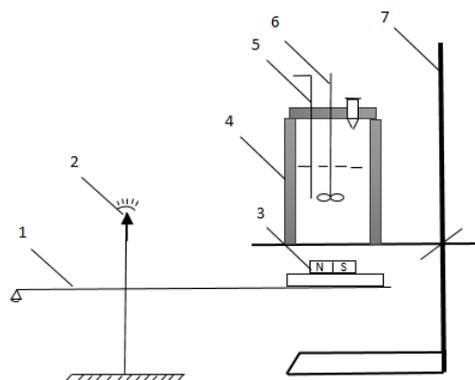


Рис.2. Схема установки регистрации частиц от времени: 1 – весы; 2 – устройство для фиксирования изменения массы от времени; 3 – магнит; 4 – термостатированный аппарат; 5 – датчик температуры; 6 – мешалка; 7 – штатив

Изначально, магнит расположенный на аналитических весах, притягивался к частицам в стакане максимально, но в течение всего процесса взаимодействие магнитного поля магнита с частицами в стакане ослабевало, и масса магнита возрастала, что регистрировалось показаниями весов.

Концентрация суспензии с отходами, в которую добавляли кислоту, составляла 70 г/л. В начальный момент времени показания весов составляли 11,59 г. Далее масса увеличивалась, что показывает влияние времени на полноту вскрытия отходов. Установили, что при 50 °С в сернокислой среде достигается 45%-ное растворение твердой фазы.

Таким образом в работе показано, что подбор условий комплексного выщелачивания сложной многокомпонентной смеси отходов магнитов Nd-Fe-B и Sm-Co возможен.

Полученные данные позволят в дальнейшем изучать параметры химического раздельного осаждения редкоземельных элементов с их последующей очисткой.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ СЕЛЕНА ПРИ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ИЗОТОПНО-ОБОГАЩЕННОГО ГЕКСАФТОРИДА СЕЛЕНА

Исаева Е.А., Зайцева А.С.

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск,

пр. Ленина, 10, 634050

E-mail: asz36@tpu.ru

Известно, что селен (Se) природного состава состоит из смеси шести стабильных изотопов: ^{74}Se , ^{76}Se , ^{77}Se , ^{78}Se , ^{80}Se , ^{82}Se средняя относительная распространенность в природной смеси которых соответственно равна: 0,87 %, 9,02 %, 7,58 %, 23,52 %, 49,82 %, 9,19 %.

Изотопы Se применяются в биологии и медицине, технике, ядерно-физических исследованиях, также являются стартовым материалом для получения радиоактивных изотопов.

Для разделения изотопов Se в качестве рабочего вещества в центрифужной технологии используется легколетучее и термостабильное соединение – гексафторид селена (SeF_6). Можно считать, что у центрифужного метода нет в настоящее время другого промышленного метода разделения изотопов Se, который мог бы ему составить конкуренцию. Целью данной работы было составить технологическую последовательность получения Se из SeF_6 . В экспериментальной работе использовали отвальный SeF_6 , предоставленный АО «Сибирский химический комбинат». Все используемые химические реагенты были химически чистыми.

Известны способы получения элементного Se из газообразного SeF_6 путем его восстановления щелочными металлами (калием при 60 °С, натрием, литием при 500 °С), сурьмой при 100 °С, мышьяком при 180 °С, кремнием при 250 °С. Недостатком известных способов является необходимость ведения процесса при высоких температурах, что усложняет аппаратное оформление процесса, приводит к загрязнению восстановленного Se металлом-восстановителем и продуктами коррозии материала реактора, от которых требуется дополнительная очистка, что снижает выход целевого продукта – стабильных изотопов Se с чистотой пригодной для их использования в различных областях науки и технике. В нашей работе для получения Se использовали гидразин гидрат ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) в качестве восстановителя SeF_6 в кислой среде. Восстановление SeF_6 с использованием $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ протекает по общему уравнению 1.

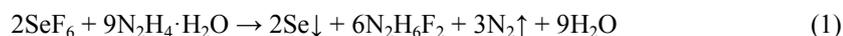


Схема получения Se из SeF_6 включает стадии перекомденсации SeF_6 из транспортировочной емкости в химический реактор, процесс восстановления, фильтрацию, промывку и сушку Se.

Полученный таким образом Se является недостаточно чистым и содержит еще некоторое количество примесей. Его химическая чистота составляет 98 – 99 %. Поэтому, для получения химически чистого Se, его подвергали трехкратной дистилляции в вакууме, при температуре 230 °С.

Содержание примесей в элементном Se анализировали на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой iCAP-Q (Thermo Scientific). Результаты количественного химического анализа некоторых примесей приведены в таблице 1. Содержание основного вещества Se составляет не менее 99,9 %.

Таблица 1 – Содержание примесей в элементном Se

Определяемый элемент	Содержание, ppm
Ca	16 ± 2
Co	Не более (0,03)
Cu	1,4 ± 0,1
Fe	Не более (7)
Mn	0,24 ± 0,02
Mo	Не более (0,1)
Ni	10 ± 4
Pb	0,8 ± 0,05
Si	Не более 15
Sn	0,08
Zn	4,4 ± 0,4

Таким образом, полученный рассмотренным способом Se имеет химическую чистоту не менее 99,9 %. Сквозной выход Se по разработанной схеме с учетом переработки всех растворов и твердых остатков составляет не менее 97 %.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗДЕЛЕНИЮ ИЗОТОПОВ В УСЛОВИЯХ СОВМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОИОНИТНЫХ И ОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Балашков В.С., Вергун А.П., Беляков Д.М.

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

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

E-mail: balaskow vit@mail.ru

К числу перспективных разделительных процессов относятся электроионитные и обменные, использующие различные виды ионитов и мембран [1,2].

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований по разделению изотопов и тонкой очистке веществ в системе гранулированный ионит – раствор при наложении электрического поля. Дано обоснование эффективности процесса, когда разделение осуществляется в условиях встречного движения ионов и обеих фаз системы ионит – раствор.

Для определения величины противотока при электромиграции ионов

разработан метод расчета скорости движения фронта в разделительной установке в зависимости от плотности тока и отношения подвижностей изучаемых ионов. Расчеты проведены как для монополярных ионитов, так и для смешанного слоя ионообменников. Экспериментальная установка, реализующая данный метод изотопного разделения, включает противоточные обменные колонны, электродиализатор, в котором происходит обращение потоков фаз и электрохроматографическую колонну [3,4]. На основании значений коэффициентов взаимодиффузии определена величина ВЭТС. Полученные расчетные значения этой величины согласуются с экспериментальными данными. Проведены исследования по влиянию флуктуаций основных параметров на эффективность работы разделительной установки. Найдены оптимальные условия проведения разделительных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Изотопы: свойства, получение, применение» под ред. Баранова В.Ю. М.: Издат. АТ 2000г.
2. Власов А.В., Вергун А.П., Орлов А.А., Тихонов Г.С. «Разделительные процессы с применением ионообменных материалов» Учебное пособие. Томск. ТПУ. 2002г. 121с.
3. Дрогалев А.С., Балашков В.С., Вергун А.П. Применение электроионитных процессов для разделения изотопических ионов и тонкой очистки веществ // Современная техника и технологии: сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск. 2012. Т. 3. С. 19-20.
4. Балашков В.С., Вергун А.П., Беляков Д.М. Разработка, оптимизация процессов разделения изотопов в противоточных колоннах с движущейся фазой ионита // Сборник тезисов докладов IV международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы : технологии, материалы и применение» Томск. 2017. С. 69.

НАПРАВЛЕННЫЙ ПОИСК, МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ И ОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗОТОПНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

Балашков В.С., Вергун А.П., Беляков Д.М.

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

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

При выборе ионитов для процессов изотопного разделения используется метод направленного поиска систем с максимальными разделительными свойствами. Основные принципы такого поиска следующие. Важнейшая характеристика процесса изотопного разделения - однократный коэффициент разделения (α) может быть рассчитан в обменных процессах через значения β - факторов участвующих в обмене соединений (β_1 и β_2). Получены формулы для расчета β - факторов в системах, использующих ионообменные материалы. Кроме рассматриваемого метода поиска обменных систем с максимальными эффектами разделения по β - факторам предложена математическая модель расчета α в системе ионит - раствор на основе представлений о электростатическом взаимодействии ионов.

На основании результатов направленного поиска систем с максимальными разделительными характеристиками предложены способы разделения изотопов. Таким образом, теоретическое определение β - факторов позволяет провести расчеты однократных коэффициентов разделения для широкого круга реакций изотопного обмена. Получены математические модели процессов изотопного разделения в виде дифференциальных уравнений в частных производных. При моделировании мембранных процессов система мембрана – раствор заменяется эквивалентным электролитом, в котором рассматривается разделительный процесс.[1].

Для моделирования, определения оптимальных условий разделения изотопов различных элементов при изотопном обмене и электрохроматографии использовались методы планирования экстремальных экспериментов [2,3]. При разделении изотопов электрохроматографическим методом с применением ионитов в качестве функции отклика использовалась относительная концентрация выделяемого изотопа в продукте (y_1) и относительный выход целевого компонента (y_2).

Факторами являются следующие величины: концентрация раствора в разделительной установке, скорости противотока в растворе и ионите, напряженность электрического поля.

Для первого параметра оптимизации получены значения коэффициентов уравнения регрессии:

$b_0=0,56$; $b_1=0,01$; $b_2=0,14$; $b_3=0,05$; $b_4=-0,04$;

Значение коэффициентов уравнения регрессии применительно ко второму параметру оптимизации следующее: $b_0=0,36$; $b_1=0,05$; $b_2=-0,09$; $b_3=-0,03$; $b_4=0,08$;

При проверке полученных уравнений на адекватность по критерию Фишера установлено, что полученные математические модели адекватно описывают разделительный процесс.

В процессах разделения изотопов применялись такие критерии оптимизации как коэффициенты разделения, ВЭТТ, степень разделения, относительный выход обогащенного продукта, относительное содержание выделяемого изотопа в отборе и отвале. Для получения математических моделей процессов разделения изотопов использовались также обобщенные критерии. При разработке обобщенных критериев учитывается тот факт, что с увеличением обогащения продукта его себестоимость и ценность "возрастает не пропорционально относительной концентрации выделяемого изотопа, а по более сложной зависимости. Относительная концентрация в данном случае входит в обобщенный критерий в виде степенной или логарифмической функции.

Проведена проверка математических моделей на адекватность, предложены методы устранения неадекватности математических моделей в процессах разделения изотопов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрогалев А.С., Вергун А.П., Балашков В.С., "Моделирование электроионитных процессов разделения изотопов и деионизации растворов, "Известия вузов. Физика, Т. 56, № 11/3, 2013. С. 297-303.
2. Балашков В.С., Иванушкин Ю.С., Вергун А.П., Дрогалев А.С., "Разделение изотопов в обменных и электрохроматографических колоннах с движущимся слоем ионита, "Известия вузов. Физика, Т. 56, № 4/2, 2013. С. 69-73.
3. Балашков В.С., Вергун А.П., Дрогалев А.С. Особенности гибких разделительных процессов, включающих изотопный обмен и электрохроматографии: сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых // Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск. 2012. Т. 3. С. 9-10.

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ОБЛУЧЕННОГО БЕРИЛЛИЯ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ ТРИТИЯ И КОБАЛЬТА-60

Бакланова Ю.Ю., Ситников А.А., Вурим А.Д.

Научный руководитель: Ситников А.А., д.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 656038,
Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46

E-mail: basalai@nnc.kz

Такие характеристики бериллия, как наименьшее эффективное поперечное сечение захвата тепловых нейтронов и высокий коэффициент рассеяния нейтронов делает его одним из лучших материалов для изготовления замедлителя быстрых нейтронов и отражателя тепловых нейтронов назад, в зону реакции. Благодаря сочетанию этих свойств с его высокой жаростойкостью и теплоемкостью удастся уменьшить размеры активной зоны, повысить рабочую температуру, снизить до минимума потери нейтронов и увеличить мощность реактора. В настоящее время около 30 тонн бериллия, отработанного в ядерно-энергетических установках, хранится в виде радиоактивных отходов (РАО). Разработка технологии его очистки позволит, как минимум снизить объем высокоактивных отходов, что приведет к повышению уровня безопасности хранения РАО и снижению расходов на его хранение.

Целью проводимых работ является оптимизация технологии выделения радионуклидов из бериллия, наработанных в период его эксплуатации в реакторе и повышение безопасности технологического процесса. Основной вклад в активность бериллия, отработавшего в ядерно-энергетических установках, вносят тритий и кобальт-60 [1]. Технология очистки облученного бериллия заключается в переводе радионуклидов и бериллия в хлориды.

Процесс хлорирования происходит на установке, содержащей реакционную камеру (хлоратор), фильтр хлорида кобальта (ФХК), емкости сбора хлорида бериллия и хлорида трития, систему теплообменников, а также систему подачи и отвода газов. Бериллий, Т и ^{60}Co при температуре $\sim 730^\circ\text{C}$ при взаимодействии с хлором образуют хлориды. В смесь полученных газов подается водород, связывающий родственный ему тритий и свободный хлор в виде хлористого водорода. Затем газы поступают в ФХК, имеющий $T \approx 500^\circ\text{C}$, где, за счет разницы в температурах фазового перехода, хлорид кобальта осаждается на развитой поверхности элементов фильтра, а хлорид бериллия и хлористый водород поступают в теплообменник. После охлаждения хлорид бериллия осаждается в емкости, а хлористый водород при данной температуре остается в газообразном состоянии, проводится через еще один охлаждающий теплообменник и собирается в емкости сбора TCl . В емкость залита вода в которой растворяется соляная кислота (HCl) и следующий с ней хлорид трития. Малый поток водорода вышедший из этой емкости выбрасывается в атмосферу.

Данная технология была апробирована на установке с циклической конфигурацией хлоратора. Гамма-спектрометрический анализ показал снижение содержания радионуклидов ^{60}Co , ^{137}Cs , $^{118\text{m}}\text{Ag}$ в пробе на 99,98 – 99,99 ат.%. Исследования выхода трития из бериллия методом термодесорбционной спектрометрии (ТДС) показал, что основное выделение трития (~ 99 ат.%) происходит до 950°C , что не противоречит рабочему режиму технологического процесса.

В результате проведенных экспериментов по отработке технологии хлорирования была определена скорость взаимодействия хлора с бериллием, которая оказалась достаточно высокой, чтобы использовать более упрощенную конфигурацию хлоратора – прямоточную.

Предполагается, что изменения, внесенные в конструкцию установки будут иметь следующие преимущества по сравнению с установкой с циклическим хлоратором:

- использование прямоточной реакционной камеры повысит производительность установки;
- ввиду отсутствия сварных швов и возможности применения кварцевого стекла в качестве конструкционного материала хлоратора, инертного по отношению к хлору, увеличит безопасность эксплуатации установки;
- изменения в системе теплообменников, обеспечивающие сжижение BeCl_2 , исключит вероятность перехода хлорида бериллия в емкость сбора TCl , то есть их смешивание;
- применение схемы бесконтактного измерения свободного хлора в полости хлоратора позволит контролировать технологический процесс и не допустить превышения нормы его концентрации.

Оптимизация конструкции принципиальной схемы установки направлена на повышение эффективности выделения радионуклидов при очистке облученного бериллия и безопасности проводимых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Transportation of Irradiated Beryllium Samples for Scientific Investigation // Specification of Beryllium Samples and Packaging in Containers, Dec., 2009, Japan Atomic Energy Agency (JAEA), Marubeni Utility Services, Ltd. (MUS).– 2009.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗОТОПНЫХ РАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ ПРОТИВОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОМИГРАЦИИ В СИСТЕМЕ ИОНИТ-РАСТВОР

Григорьев М.И., Балашков В.С., Вергун А.П.

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

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

Исследования в области электромиграции в ионитах направлены на разработку эффективных способов разделения изотопов, ионов с близкими свойствами, тонкой очистки веществ. Рассматриваемый способ разделения изотопных и ионных смесей, основан на совмещении обменных и электрохроматографических процессов. В серии колонн осуществляется изотопный обмен с обращением потоков фаз, которое производится с применением электродиализатора с ионообменными мембранами. Разработана программа расчета параметров работы электродиализатора с ионитом в рабочей камере. Определяются значения скорости движения фронта электромиграции, отделяющего обогащенную и обедненную фракции в зависимости от условий электропитания аппарата, характеристик ионита и подвижностей разделяемых изотопов.

Достигнутая степень замещения составила 96-98 %, что является достаточным для организации непрерывного процесса обращения потоков фаз.

Процесс обращения потоков фаз изучался как в аппаратах фильтр-прессного так и трубчатого типа. С точки зрения повышения производительности электродиализатора проводились исследования по обращению потоков фаз при интенсивных токовых режимах, когда плотность тока в аппарате выше предельных значений. Обращение потоков фаз изучалось также на разработанном многокамерном электродиализаторе ступенчатого типа. Противоток в таком аппарате осуществлялся без подачи специального раствора в катодную камеру. Электродиализатор выполнен в виде фильтр-прессной установки из камер различной высоты. Высота камер уменьшается от катода к аноду.

Получены результаты по электроосмотическому переносу растворителя в зависимости от значения электрического тока. Так для величины электрического тока 0,1; 0,2; 0,3(а). Электроосмотический перенос растворителя составил соответственно, 1,1; 1,95; 3(мл./час). Определялись величины концентраций выделяемого изотопа в камерах аппарата и значения pH. Электролит из катодной камеры электродиализатора направляется далее в качестве потока питания в электрохроматографическую колонну.

Противоточная электромиграция разделяемых ионов в ней осуществляется как в фазе раствора, так и в фазе ионита путем встречного движения ионов и системы ионит-раствор. Эффективность электроионитных методов разделения при этом существенно возрастает. Так в сопоставимых условиях степень разделения в рассматриваемом методе в 1,3 раза выше, чем в колоннах с неподвижным ионитом. В схеме изотопных разделений применяется установка, состоящая из противоточной ионообменной колонны с наложением электрического поля и электродиализатора, присоединенного к ее катодной части. При разделении ионов с близкими свойствами на установке существенно повышается число переноса и степень разделения по сравнению с обычной электрохроматографической колонной. Более эффективно осуществляется и каскадирование ступеней типа электродиализатор-колонна. Электродиализные аппараты изучались фильтр-прессного и трубчатого типов. Электропитание осуществлялось постоянным и асимметричным током. При анализе нестационарных условий работы установки при разделении ионных и изотопных смесей рассматривалось влияние флуктуации основных параметров на степень разделения и величину отбора выделяемого компонента.

При оптимизации процессов разделения изотопов и ионов с близкими свойствами в условиях противоточной электромиграции в ионитах использовались методы планирования экстремальных экспериментов. При построении математических моделей рассматриваемых процессов в виде уравнений регрессии в качестве функции отклика рассматривалась степень изотопного разделения (y_1). Факторами являлись следующие величины. Концентрация раствора в разделительной установке Z_1 [г-экв/см³], напряжение электрического поля Z_4 [в], скорости противотока раствора и ионита —соответственно Z_2 и Z_3 [см³/час]. Проверка адекватности полученных математических моделей рассматриваемому процессу разделения изотопических ионов проводилась по критерию Фишера (F). Показано, что условие адекватности соблюдается.

СОРБЕНТЫ ИМПРЕГНИРОВАННОГО ТИПА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ Pb^{2+}

Бежин Н.А.¹, Довгий И.И.², Товарчий Я.Ю.¹

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

²ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, 299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: nickbezhin@yandex.ru

Радиоактивные изотопы свинца являются одними из наиболее биологически опасных из всей группы радионуклидов, техногенное поступление которых в окружающую среду связано в первую очередь со сжиганием углеводородного топлива, деятельностью уранодобывающих и перерабатывающих предприятий и производством фосфорных удобрений.

В настоящей работе на основе 1,8-Бис[2-(дифенилфосфорилметил)фенокси]-3,6-диоксооктана (ФП) исследован новый сорбент импрегнированного типа для селективного извлечения Pb^{2+} . Для сравнения эффективности и условий сорбции Pb^{2+} получен также ряд импрегнированных сорбентов на основе различных разбавителей (октанола-1, нитробензола, 1,1,7-тригидродекафторгептанола) и краун-эфира – ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6 (ДТБДЦГ18К6) [1].

Сорбцию проводили аналогично [2, 3]. Использовали нейтральные, азотнокислые (0,01 – 8 М) и солянокислые (0,01 – 4 М) исследуемые растворы с концентрацией свинца 5 мг/л. Полученные результаты представлены на рис. 1 и 2.

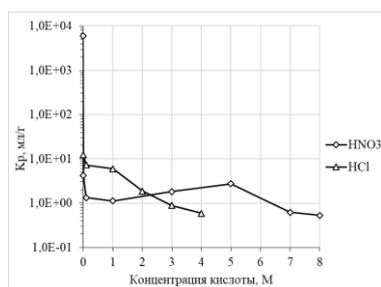
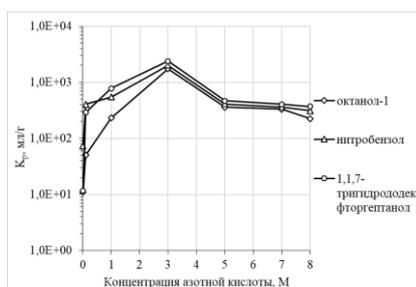
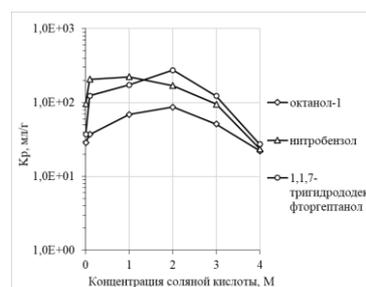


Рис.1. Зависимость коэффициентов распределения свинца от концентрации азотной и соляной кислоты для сорбента на основе ФП



а



б

Рис.2. Зависимость коэффициентов распределения свинца от концентрации азотной (а) и соляной (б) кислоты для сорбента на основе ДТБДЦГ18К6

Установлено, что сорбента на основе ФП количественно сорбирует свинец из нейтральных сред и может быть использована для извлечения Pb^{2+} из природных растворов. Сорбент на основе ДТБДЦГ18К6 обладают лучшими характеристиками сорбции свинца из 3 М растворов азотной кислоты и 2 М растворов соляной кислоты и могут быть использованы для извлечения Pb^{2+} из технологических растворов.

В дальнейшем планируется изучение физико-химических характеристик полученных сорбентов (изотермы, кинетики и селективности сорбции).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства города Севастополя в рамках исследовательского проекта № 18-43-920004 «р_а» и в рамках государственного задания ФАНО Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0827-2018-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2636482 Российская Федерация, МПК В01J 20/32, В01J 20/22. Способ получения сорбентов на основе носителей и краун-эфиров и 1,1,7-тригидродекафторгептанола-1 как разбавителя / Бежин Н.А., Довгий И.И. – № 2016139050/05, заявл. 04.10.2016; опубл. 23.11.2017, Бюл. № 33. – 2 с.
2. Bezhin N.A., Dovhyi I.I., Lyapunov A.Yu. Sorption of strontium by sorbents on the base of di-(tert-butylcyclohexano)-18-crown-6 with use of various diluents // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2017. – Vol. 311, No. 1. – P. 317–322. DOI: 10.1007/s10967-016-4983-2.
3. Yankovskaya V.S., Dovhyi I.I., Bezhin N.A., Milyutin V.V., Nekrasova N.A., Kapranov S.V., Shulgin V.F. Sorption of cobalt by extraction chromatographic resin on the base of di-(tert-butylbenzo)-18-crown-6 // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2018. – DOI 10.1007/s10967-018-6090-z.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Довгий И.И.¹, Кременчуцкий Д.А.¹, Шибецкая Ю.Г.²

¹ ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», 299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: dovhyi.illarion@yandex.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Одним из последствий аварии на Чернобыльской АЭС является загрязнение Черного моря радионуклидами техногенного происхождения, основным из которых является ^{137}Cs . Предложено множество методик радиоаналитического определения ^{137}Cs в морской воде.

Для концентрирования наиболее широко используются нанесенные на различные волокна ферроцианиды переходных металлов. Ранее из них часто использовался ферроцианид меди [1], его недостатком является извлечение из морской воды калия, в т.ч. природного изотопа ^{40}K . Однако в дальнейшем его вытеснил смешанный ферроцианид калия-никеля [2], поскольку данный материал показывает большую селективность по отношению к ^{137}Cs .

В настоящее время полиакрилатное волокно с нанесенным ферроцианидом калия-никеля KNiFeC-PAN используется во многих работах в области морской радиохимии [3]. При этом расход сорбента для анализа пробы 20 л составляет 5 мл. Для дальнейшего анализа ^{137}Cs используется низкофоновая γ -спектрометрия. Достоинствами этого метода являются использование для анализа относительно малых объемов морской воды. Недостатком – необходимость наличия дорогостоящего оборудования. В то же время в радиохимических лабораториях в развивающихся странах часто имеются сцинтилляционные γ -спектрометры. С их помощью также можно проводить исследования в области морской радиохимии и радиозоологии. Однако для этого необходимо увеличение объема проб в несколько раз.

В ходе 95 рейса на НИС «Профессор Водяницкий» 14 июня – 7 июля 2017 г. на 11 станциях отобраны пробы для измерения объемной активности радионуклида ^{137}Cs в поверхностном слое различных районов Черного моря объемом 2-8 м³. Для 6 станций кроме поверхностных проб были отобраны пробы в зоне термоклина и под термоклином, т.о. получены профили активности ^{137}Cs в верхнем квазиоднородном слое. Для извлечения ^{137}Cs из морской воды впервые использован сорбент ферроцианидный ФСС, разработанный для селективного извлечения радионуклидов цезия (^{134}Cs , ^{137}Cs) из технологических растворов и радиоактивных сточных вод. Производитель НПО «Эктос-атом», г. Москва, выпускается по ТУ 2641-012-579883206-2012, содержание ферроцианида никеля-калия не менее 50 мг/г.

Пробы морской воды закачивались погружным насосом в баки объемом 1 м³ из которых вода прокачивалась через систему, состоящую из фильтра механической очистки от взвесей (размер пор 1 мкм) и двух колонок с сорбентом. В качестве насыпки в колонка использовался сорбент ФСС. Скорость пропускания морской воды через систему 6-10 л/мин.

По результатам измерений величина объемной активности ^{137}Cs изменялась от 5,7 до 8,7 Бк м⁻³ и составляла в среднем 6,9 Бк м⁻³. Максимальные значения наблюдались для западного побережья Крымского полуострова и обусловлены близостью источника – вод р. Днепр, минимальные для Южного побережья Крыма. Показаны высокие степени извлечения (более 60%) ^{137}Cs сорбентом ФСС.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО Российской Федерации (тема «Океанографические процессы» № 0827-2018-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Buessler K.O., Casso S.A., Hartman M.C., Livingston H.D. Determination of fission products and actinides in the Black Sea following the Chernobyl accident // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1990. – Vol. 138, No. 1. – P. 33-47.
2. Šebesta F. Composite sorbents of inorganic ion-exchangers and polyacrylonitrile binding matrix I. Methods of modification of properties of inorganic ion-exchangers for application in column packed beds. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1997. – Vol. 220, No. 1. – P. 77-88.
3. Breier C.F., Pike S.M., Šebesta F., Tradd K., Breier J.A., Buessler K.O. New applications of KNiFC-PAN resin for broad scale monitoring of radiocesium following the Fukushima Dai-ichi nuclear disaster // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2016. – Vol. 307, No. 3. – P. 2193-2200.

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОТОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛИМЕРНОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МЕМБРАНЫ ETFE

Вешкин И.А., Копцев М.О., Северин А.В.

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

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

E-mail:Maxkoptsev@gmail.com

Наиболее перспективными и экологически чистым источником электрической энергии является водородная энергетика (ВЭ), использующая в своей основе водород и углеводородное топливо. Запасы водорода можно считать практически неиссякаемыми, ведь его главным источником является вода, но могут быть газ, уголь, биомасса, причем как растений, так и отходов.

Для выделения энергии из молекул водорода в ВЭ используются топливные элементы Топливные элементы (ТЭ) – устройства, способные осуществлять прямое преобразование химической энергии в электрическую. Коэффициент полезного действия таких устройств может достигать вплоть до 90%. Однако широкое внедрение топливных элементов с полимерной мембраной пока задерживается из-за высокой стоимости вырабатываемого электричества. В топливных элементах одними из самых дорогих компонентов являются катализатор и протонопроводящая мембрана (ПОМ) [1]

На сегодняшний день наиболее широко распространенной является мембрана Nafion, производимая фирмой DuPont, стоимость более 1000 \$ за 1 м². Протонная проводимость мембраны – одна из основных характеристик ПОМ.

Настоящая работы посвящена исследованию протонной проводимости принципиально новых ПОМ, полученных путем радиационно-химической модификации коммерчески доступных полимеров поливинилиденфторида (ПВДФ) и этилентетрафторэтилен (ЕТФЕ).

Мембраны облучались высокоэнергетическим пучком ионов гелия и протонов, дозами (1-3) МГр. Облученные образцы затем обрабатывались химически. Гравиметрическим методом определяли [2] влагопоглощение мембранных образцов, путем взвешивания сухой и увлажненной мембран. Протонная проводимость определялась методом импедансометрии [3], измерения проводились в специально разработанной ячейке из титана. Исследовались образцы мембран из Нафiona, ПВДФ и ЕТФЕ. В таблице 1 представлены результаты исследований.

Таблица 1 – Результаты исследований

№ образца	Материал образца	Влагопоглощение,%	Активное сопротивление, Ом	Проводимость, мСм/см
1	Нафion	80	- -	53
2	ЕТФЕ	50	0.75	61
3	ЕТФЕ	50	0.55	83
4	ПВДФ	60	0.3	26

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang Y., Chen S. A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research // Applied Energy. Volume 88, Issue 4, April 2011, Pages 981-1007.
2. Boinovich, L.B. Hydrophobic materials and coatings: principles of design, properties and applications / L.B. Boinovich, A.M. Emelyanenko // Russian Chemical Reviews. – 2008. – V. 77, N. 7. – p. 583-600.
3. Coqueret X. Radiation-induced polymerization // Applications of ionizing radiation in materials processing. Universite de Reims Champagne-Ardenne, CNRS UMR 7312, Institut de Chimie Moleculaire de Reims, BP 1039, 51687 Reims Cedex 2, France. - Режим доступа: <http://www.ichtj.waw.pl/ichtj/publ/monogr/sun2017/sun-chapter6.pdf>.

РАЗДЕЛЕНИЕ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ ТРЕКОВЫМИ ВЫСОКОСЕЛЕКТИВНЫМИ МЕМБРАНАМИ

Копцев М.О., Вешкин И.А. Северин А.В.

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

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

E-mail: Maxkoptsev@gmail.com

В работе представлены результаты экспериментальных исследований мембранного электроосмотического разделения сольватированных ионов Са и Mg. Процесс разделения ионов проводился в двухкамерной ячейке. Камеры были разделены мембранным блоком, который состоял из набора трековых мембран с порами разных диаметров. Диаметры пор варьировались от 45 до 80 нм. Мембраны, в свою очередь, разделялись дренажной сеткой, состоящей из волокон нержавеющей стали. Латентные треки в полимере полиэтилентерефталат(ПЭТФ) формировались при облучении полимера тяжелыми ионами $^{40}\text{Ar}^{+8}$ с энергией 41 МэВ [1]. Последующее химическое травление применялось для вытравливания облученных областей трека и формирования сквозных пор в мембране. Для фильтрации были выбраны мембраны с порами 40, 60, 100 нм. На рисунке 1 изображена в 3D поверхность трековой мембраны с порами.

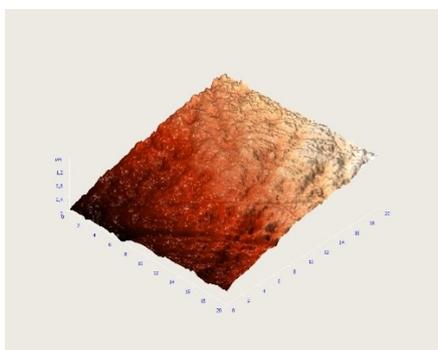


Рисунок 1 – 3D поверхность трековой мембраны с порами.

В каждой ячейке размещался нерастворимый электрод. При воздействии электрического поля на разделительную систему с мембранами были получены коэффициенты разделения для данной системы растворов: Са -1,7, Mg – 2. Концентрация растворов определялась с помощью УФ спектроскопии [2] по спектральным характеристикам и калибровочной кривой, полученной для эталонных растворов Са и Mg.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дюсембекова А.А. , Сохорева В.В. Свойства полипропиленовых трековых мембран // Международный журнал «Альтернативная энергетика.- №23.-2015.-116-125с.
2. Танасюк Д.А. Ермаков В.И. Оптические спектры водных растворов хлоридов К, Mg, Са, Mn. // Успехи в химии и химической технологии.- Т.27.- №6.-2013.-55-58с.

МАГНИТНАЯ СЕПАРАЦИЯ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ

Басс В.И., Каренгин А.А.

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

В процессе подготовки воды на Томском подземном водозаборе образуются отходы водоподготовки (ОВП), имеющие следующий состав (%): Fe- 30,3; Mn – 4,5; Si – 4,0; Ca – 1,0; H₂O – остальное [1]. Эти отходы могли бы стать сырьевой базой для производства дешевых пигментов и изготовления на их основе различной продукции (окрашенные строительные материалы и изделия, железосодержащие концентраты для производства сталей и сплавов и др.). Из-за отсутствия энергоэффективных технологий ОВП не находят широкого применения.

Представляет интерес процесс плазменной переработки композиций на основе ОВП, включающих органический компонент в виде отходов производства метанола (ГОПМ) [2].

На основе результатов расчетов показателей горючести определены составы композиций «ОВП–ГОПМ», имеющие низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг и обеспечивающие как существенное снижение энергозатрат на их плазменную переработку (с 4,0 до 0,1 МВт·ч/т), так и дополнительное получение тепловой энергии для технологических и бытовых нужд (до 2,0 МВт·ч/т).

В результате термодинамических расчетов установлены закономерности влияния массовых долей воздушного плазменного теплоносителя на равновесные составы образующихся газообразных и твердых продуктов и определены режимы, обеспечивающие получение магнитного оксида железа (Fe₃O₄) в составе твердых продуктов плазменной переработки ОВП. Для расчетов использовалась лицензионная программа «TERRA».

С учетом полученных результатов на плазменном стенде «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01» (Рис. 1а) проведена переработка в воздушно-плазменном потоке композиций «ОВП–ГОПМ» и получены порошки, включающие Fe₃O₄.

На рисунке 1б представлены схема установки и характерные результаты гравитационного и магнитного осаждения (сепарации) полученных порошков из водных суспензий с начальной концентрацией 20 г/л с применением магнита М1 (50x30x10 мм) из сплава Fe-Nd-B с магнитной индукцией 0,1 Тл.

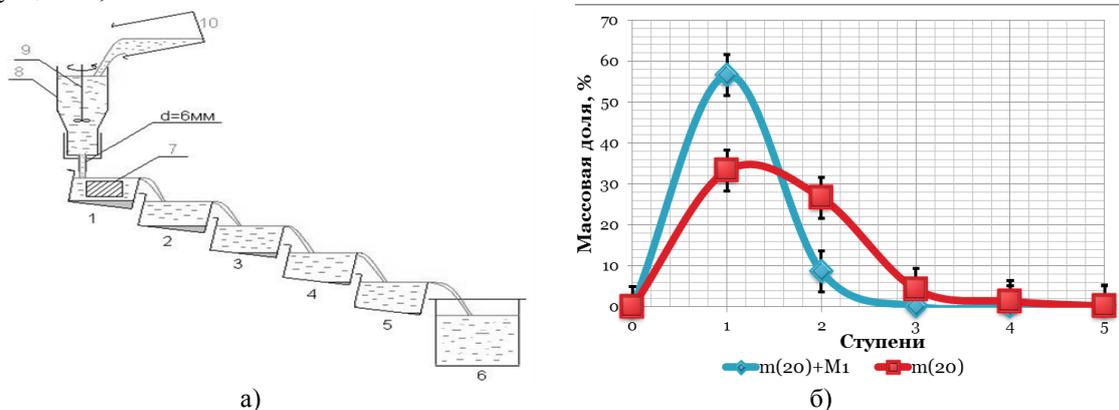


Рис. 1.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии энергоэффективной плазменной обработки ОВП и получения пигментов различного состава и назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисецкий В.Н., Брюханцев В.Н., Андрейченко А.А. Улавливание и утилизация осадков водоподготовки на водозаборах г. Томска. - Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 164с.
2. Власов В. А., Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Шеховцова А.П. Плазменное получение нанодисперсных пигментов из отходов после очистки воды // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 3/3. - С. 87-90.

ЭЛЕКТРОРЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

Дорофеева Л.И., Михайлов А.Г.

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

E-mail: agm10@tpu.ru

Процессы очистки и селективного извлечения ценных компонентов из технологических растворов при электрорегенерации широко используются во многих отраслях промышленности [1] для создания замкнутых непрерывных технологических циклов, получения моноизотопной продукции.

В работе рассмотрены электроионитные системы с использованием органических и неорганических катионитов. В динамическом режиме работы электродиализного аппарата с непрерывной подачей раствора определялось время диффузии ионов, мигрирующих по рабочей камере горизонтально, с учётом вертикальной составляющей.

Из условий равенства времени движения ионов в вертикальном и горизонтальном направлениях [2] для нормальных условий переноса определялся объёмный расход раствора в аппарате:

$$Q_p = \omega_k \cdot d_k \cdot V_p \cdot f = \frac{\omega_k \cdot H_k \cdot \mathcal{G}_u \cdot U \cdot f}{L_{AK} \cdot F}, \quad t_p = \frac{H_k}{V_p},$$

а также время задержки ионов в электродиализаторе:

где H_k – высота рабочего пространства средней камеры; V_p – линейная скорость движения раствора, ω_k – ширина средней камеры; d_k – межмембранное расстояние в средней камере; \mathcal{G}_u – подвижность иона; F – число Фарадея; U – прикладываемое напряжение; f – коэффициент пористости; L_{AK} – межэлектродное расстояние;

Таким образом, при наложении электрического поля на двухфазную систему рассчитано время диффузии ионов через рабочую камеру электродиализатора, работающего в динамическом режиме подачи раствора и выбран рабочий диапазон расхода раствора. С учётом подвижности ионов и коэффициентов диффузии определены кинетические характеристики процесса электромиграции. Интенсивность массопереноса [3] значительно возрастает с межмембранным заполнением рабочего пространства аппарата, кинетические характеристики процесса электротранспорта ионов при данных условиях рабочей среды показывают, что эффективность процесса разделения [4] зависит от типа ионита, его структурных характеристик, размеров в гидратированном и дегидратированном состоянии, температуры среды, природы аниона, связанного с катионом в растворе. Распределение концентрации ионов в процессе электромиграции [5] по ионообменному слою можно определить с учётом отношения подвижностей ионов и плотности тока:

$$\frac{\partial J_A}{\partial \tau} = \frac{i}{F C_E} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\alpha J_A}{1 - (1 - \alpha) J_A} \right\}.$$

Здесь i – плотность тока [мА/см²]; J_A – доля ионита; C_E – ёмкость ионита [мг-экв./г]; α – отношение подвижностей ионов.

В ходе процесса электрорегенерации рассчитана скорость движения фронта концентрационной волны по средней камере электродиализатора с межмембранным заполнением ионообменным материалом, определены затраты энергии и условия электропитания.

Получены результаты теоретических исследований для обменных систем с электрорегенерацией, использованного на стадиях сорбции, ионообменного материала, которые хорошо согласуются с экспериментальными данными. Для осуществления замкнутых непрерывных процессов электрорегенерации отработанных технологических растворов эффективно использование динамического режима работы электродиализного аппарата, результаты работы могут быть использованы на предприятиях для процессов очистки технологических растворов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярославцев А.Б. Ионный обмен на неорганических сорбентах// Успехи химии, 1997, Т.66, №7, С.641-660.
2. Вергун А.П., Тихонов Г.С., Дорофеева Л.И. Деионизация никельсодержащих растворов гальванического производства. // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т.306, № 2. – С. 38 - 39. - ISBN 60579582.
3. Измайлов Н.А. Электрохимия растворов. Москва: Химия, 1976. - 488 стр.
4. Dorofeeva L.I., Nguyen Anh Kuan. Modeling of Sorption Processes on Solid-phase Ion-exchangers// AIP Conference Proceedings. — 2018. — Vol. 1938 — [020021, 6 p.].
5. Вергун А. П., Тихомиров И. А., Л. И. Дорофеева. Разделение изотопов и ионов с близкими свойствами в обменных процессах с электрохимическим обращением потока фаз// Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ). – 2003. – Т. 306, № 3. – С. 66-70.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИММОБИЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Пшеничников А.С., Дорофеева Л.И.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: asp50@tpu.ru

Проблема переработки жидких радиоактивных отходов с целью их надёжной изоляции от окружающей среды [1] и последующего безопасного хранения является актуальной задачей, связанной с комплексным решением вопросов обращения с жидкими радиоактивными отходами.

Отверждённая форма отходов наиболее приемлема, как с точки зрения уменьшения объёмов жидких радиоактивных отходов [2], так и для последующих мероприятий транспортировки, переработки и захоронения.

Сорбционные методы поглощения радиоактивных отходов позволяют прочно фиксировать радионуклиды [3] в матрице ионообменного материала и являются одним из возможных способов переработки исходного сырья, находящегося в неотверждённом виде. Для более глубокой и эффективной очистки исходного сырья, как правило, используют селективный ионообменный материал, позволяющий избирательно извлекать отдельные компоненты раствора. Использование селективных сорбентов увеличивает эффективность процесса и приводит к стабильному удержанию основных компонентов раствора.

Прочное фиксирование радионуклидов в структуре твердого носителя является одним из многочисленных способов переработки радиоактивного сырья, таких как высушивание, плавление, заключение в металлическую матрицу, цементирование. Исследования по безопасному включению жидких отходов в керамическую матрицу [4] проводятся с учётом структуры и состава матрицы, параметров водопоглощения, пористости, прочности и других требований, которые необходимо учитывать при формировании цементных компаундов.

Оптимальные условия формирования компаундов определялись с использованием математического моделирования и при учёте основных факторов, оказывающих наибольшее влияние на выходные параметры процесса. Параметрическая модель, полученная в результате математической обработки данных, представляет собой уравнение регрессии и показывает влияние плотности и пористости на механическую прочность получаемых образцов. Так, при увеличении пористости на 5 % прочность уменьшается на 2 кгс/см².

Рассмотрено также изменение предела прочности керамических образцов в результате влияния добавок, уменьшающих водопоглощение.

Оптимальный режим спекания определяется с учётом высокой прочности компаундов и отсутствия выброса радиоактивного газа, в данном режиме достигается максимум нагрузки разрушения, при этом наблюдается наибольшая механическая прочность.

Для расчета параметров использовали коэффициенты систем уравнений, расположенных с учётом увеличения температуры. Оптимальный режим спекания установлен на температуре 650°C, при дальнейшем увеличении температуры наблюдается выброс радиоактивных газов.

Получены теоретические зависимости, показывающие влияние температурного режима обжига, количества воды, ила и добавок на механическую прочность и водостойкость компаундов. Критерии, показывающие достоверность статистической обработки данных находятся в диапазоне 0.90 ÷ 0.95, таким образом, установлено, что регрессионные уравнения соответствуют экспериментальным данным.

В результате проведённых исследований можно сделать вывод о том, что метод отверждения радиоактивных отходов путем их включения в керамическую матрицу, также является перспективным, и наряду с другими вышеперечисленными методами и показывает хорошие результаты для его дальнейшего использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подход к оценке безопасности способов обращения с жидкими радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла / С.А. Кабакчи, О.М. Ковалевич, Р.Б. Шарафутдинов и др. / Атомная энергия. 2002. Т. 92. Вып. 3.
2. Дмитриев С.А. Пути разрешения проблемы хранения кубовых остатков на АЭС / С.А. Дмитриев, Ф.А. Лифанов, А.Е. Савкин // Обращение с радиоактивными отходами. М.: ЭНИЦ ВНИИ АЭС, 2002.
3. Лукин В. Д. «Адсорбционные процессы в химической промышленности», Химия, 1973 - 61 стр.
4. Dorofeeva L. I., Orekhov D.V. Research of Ceramic Matrix for a Safe Immobilization of Radioactive Sludge Waste [Electronic resource] // AIP Conference Proceedings. — 2018. — Vol. 1938 — [020011, 5 p.].

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

- А -
Абдиянов А. Е. 43, 88
Азанов А.А. 44
Акимов В.Н. 95
Альмяков П.Э. 99
Алюков Е.С. 54, 55, 64
Андреев Д.В. 71
Аникин М.Н. 97
Аржанников А.В. 47

- Б -
Бабаев Р. Г. 59, 63, 70
Балачков М.М. 32
Балашков В.С. 108, 109, 111
Baklanova Yu. Yu. 28, 110
Басс В.И. 116
Bedenko S. V. 46, 49
Бежин Н.А. 112
Bezdenezhnykh I.V.86
Беляков Д.М. 108, 109
Беляев В.В. 98
Beljaeva I.V.78, 85
Беспала Е.В. 24, 74
Беспала Ю.Р. 24, 74
Болгов С.Ю. 89
Борецкий Е.А. 95, 96
Bryanskiy K.S. 86
Бутов В.Г. 91

- В -
Варлачев В.А. 82
Vassilyeva Yuliya Z. 37
Вергун А.П. 108, 109, 111
Верхорубов Д.Л. 94
Вешкин И.А. 114, 115
Видяев Д.Г. 94,95
Волков Ю.Н. 26
Vurim A.D. 12, 28, 110

- Г -
Ghal-Eh N. 46
Гамов Д.Л. 39, 40, 41
Головков Н.И. 54, 58, 64, 89, 90
Греченок Е.Ю. 105
Григорьев М.И. 111
Григорьев А.С. 35, 39
Губская М.Л. 103
Гусев В.Е. 26, 27
Гусева Д.В. 101

- Д -

Дмитриев В.В. 96
Довгий И.И. 112, 113
Доняева Е.С. 84
Дорофеева Л.И. 117, 118
Дуйсебаев Б.О. 13

- Е -

Egorova V. V. 87
Емец Е.Г. 82
Еремеев Р.С. 32, 38, 40
Ерунцов В.В. 92
Ефремов И.Г. 83

- Ж -

- З -

Загузин И.Ю. 42
Зайцева А.С. 107
Zelinskii A.S. 79
Зорькин А.И. 49, 50
Зотов Е.А. 67
Зубов В.В. 53, 71
Зукау В.В. 83,84

- И -

Исаева Е.А. 107
Иванов К.С. 62

- К -

Кабанов Д.В. 82, 83
Казарян М.А. 8
Кенжин Е.А. 11
Кайдаров А.Е. 65
Карелин В.А. 44, 103, 104
Карелина Н.В. 103, 104
Каренгин А.А. 60, 65, 67, 68, 70, 71,116
Каренгин А.Г. 60
Картавых А.А. 33
Кньшев В.В. 46, 47
Козлов С.Е.94
Кокон К. V. 87
Колесников Е.В. 75
Копцев М.О. 114, 115
Kotov V.M. 28
Космачев П.В. 57
Котельникова А.А. 30
Крайнов А.Ю. 33
Кременчуцкий Д.А. 113
Кузеро В.Б. 48
Кузнецова М.Е.50
Куркин П.А. 68

- Л -
Ларионов В. В. 77
Лебедев И.И. 97
Леонов А.В. 74
Леонтьева Д.А. 29, 38, 40
Li Hongda 43
Ли В.И. 72
Лукин А.В. 38
Луценко Ю.Ю. 36, 51, 52
Лютиков О.Н. 42

- М -
Мальшев М.С. 103
Малюгин Р.В. 29, 30
Масленников Ю.С. 82, 83, 88, 90
Меркель К.И. 105
Миклашевич Л.А. 41
Михайлов А.Г. 117
Мустафин А.Р. 31
Мюсова А.Е. 36, 51, 52

- Н -
Невиница В.А. 26, 27
Nguen Т.Н. 81
Новоселов И.Ю. 48, 55, 62

- О -
Орлов А.А. 23, 25

- П -
Пластун С.А. 92
Побережников А.Д. 69, 70
Pustovalov К.Н. 85
Пшеничников А.С. 118

- Р -
Расторгуев В.И. 69
Рыжакова Н.К. 93

- С -
Сабитова Р.Р. 49
Савостиков Д.В. 95
Сагалакова К.А. 72
Садкин В.Л. 76
Северин А.В. 114, 115
Ситников А.А. 110
Скорынин Г.М. 25
Смирнов А.Ю. 26, 27, 31
Смольников Н.В. 97
Совач В.П. 23
Сосновский А.С. 43, 58
Ставицкая К.О. 93

Страшко А.Н. 105
Сулаберидзе Г.А. 27, 31
Suleimenov N.A. 28
Surayev A.S. 28
Сюй Шупэн 77

- Т -
Тимченко С.Н. 90, 91
Тихонов М.А. 104
Тихонов А.Е. 63
Товарчий Я.Ю. 112
Тундешев Н.В. 61
Тюрин С.В. 58

- У -
Углов В.В. 10
Удалов А.А. 93
Украинец О.А. 50
Ушаков А.А. 23
Ушаков И.А. 88, 89, 91

- Ф -
- Х -
Хорохорин Д.М. 32, 39, 41

- Ц -
Цветков А.Д. 96

- Ч -
Черепнев М.С. 80, 92, 99
Чибисов Е.В. 82, 83
Чикова И.В. 84
Чубреев Д.О. 24, 35, 74
Chuvilin D. Yu. 87

- Ш -
Шаманин И.В. 47
Шестакова Л.А. 66
Шеховцов В.В. 56
Шибецкая Ю.Г. 113
Шутова С.К. 104
Шредер А.С. 94

- Ю -
- Я -
Yakovlev G.A. 78, 80, 81, 85
Yakovleva V.S. 78, 79, 80, 81, 85

Научное издание

ИЗОТОПЫ: ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

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

Издано в авторской редакции

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

Подписано к печати 12.09.2016. Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 3,96.

Заказ **2667**. Тираж 60 экз.

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