

**Секция
«Перспективные приложения
ядерных технологий»**

ПОЛУЧЕНИЕ МУЛЛИТСОДЕРЖАЩИХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ТОПАЗОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Аброськин А.И.

Северская государственная технологическая академия

Получение водорода с помощью высокотемпературного электролиза является одним из перспективных направлений водородной энергетики. В ходе этого процесса вода разлагается на водород и кислород, под действием электрического тока, далее при температуре порядка 1000⁰С происходит разделение компонентов с помощью полупроницаемой перегородки из материала, обладающего поверхностной проводимостью.

Для изготовления мембран предполагается применять тончайшие керамические пластины (материалы) с внутренней структурой, исключающей рекомбинацию водорода. Одним из таких материалов является муллит – алюмосиликат, имеющий волокнистую или игольчатую структуру и обладающий поверхностной проводимостью.

Благодаря своим физико-химическим свойствам керамические материалы на основе муллита нашли широкое применение в технике. Данный материал отличается температурной устойчивостью, обладает высокой ударпрочностью, низкой теплопроводностью, а так же стойкостью к агрессивным, в том числе фтор содержащим, средам.

При добавлении волокнистого муллита в керамику другого состава можно получать композиционные материалы, обладающие высокой механической и жара прочностью, при достаточно низкой себестоимости.

Обычно муллит синтезируют из смеси порошков Al_2O_3 , SiO_2 , AlF_3 . При этом образуется фаза муллита, представленная составом $2Al_2O_3 \cdot SiO_2$ или $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

В работе предприняты попытки получить муллитовую фазу при термической обработке фтортопазного концентрата. Этот концентрат содержит все необходимые компоненты для образования муллитовой фазы и имеется ряд литературных данных подтверждающих возможность такого процесса.

В качестве исходного сырья для прессования гранул использовалась шихта состава Al_2O_3 +фтортопаз+ПВС (поливиниловый спирт). После высокотемпературной обработки при 1200⁰С, образцы были исследованы на электронном микроскопе и подвергнуты рентгеноструктурному анализу, который показал наличие основной фазы игольчатого муллита с длинной волокон до 1мм.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЩНОГО ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Аверьякин А.С.

Снежинская государственная физико-техническая академия

В последние годы в мире достигнуты значительные успехи в создании мощных и компактных лазерных систем тераваттного диапазона (так называемых Т³-лазеров — Table Top Terawatt). Длительность импульса излучения таких систем составляет ~20-500фс, что уже при сравнительно небольшой энергии в импульсе $W \sim 1$ Дж позволяет получить мощность излучения в десятки тераватт и интенсивность излучения при фокусировке на мишень до 10^{20} Вт/см².

Создание фемтосекундных лазеров тераваттной мощности стимулировало поиск их возможных применений. Наиболее интересные и перспективные среди них связаны со сравнительно недавно открытым явлением генерации приблизительно моноэнергетических пучков релятивистских электронов при взаимодействии лазерного излучения фемтосекундной длительности с плазмой. В настоящее время такая генерация наблюдалась во многих лабораториях мира [1,2,3]. Данные этих экспериментов демонстрируют возможность лазерно-плазменного ускорения электронов до энергий в пучке $E \sim 10 \div 100$ МэВ при сравнительно небольшом их разбросе $(\Delta E/E) \sim 5 \div 20\%$. Перспективной является возможность использования таких релятивистских электронных пучков для генерации микроволнового черенковского излучения (в терагерцовом диапазоне). Принципиальная схема черенковского генератора с лазерно-плазменным драйвером приведена на рисунке, где ИРЭ — импульс релятивистских электронов от лазерно-плазменного ускорителя, ДБ — диэлектрический блок с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_c > 1$, $\theta_0 \approx \arccos \epsilon_c^{-1/2}$ — угол, под которым испускается черенковское излучение в ДБ. Такая схема за счет полного внутреннего отражения излучения на конической поверхности ДБ при $\theta_k = \theta_0/2$ обеспечивает преобразование конического фронта микроволнового черенковского излучения ИРЭ в плоско-параллельный поток излучения.

Расчет характеристик токового импульса, возбуждаемого в ДБ пучком релятивистских электронов лазерно-плазменного генератора, проведен методом Монте-Карло по программе MCNP [4]. Найденное распределение плотности тока в ДБ аппроксимировалось аналитической функцией, которая использовалась для оценки характеристик черенковского излучения.

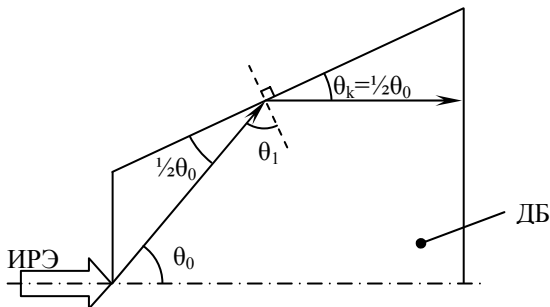


Рисунок. Схема черенковского генератора.

Для этого применялось решение уравнений Даламбера методом запаздывающих потенциалов, позволяющее получить пространственно-временные характеристики излучения.

Рассмотренные эффекты являются основой [5] мощных черенковских генераторов направленного микроволнового излучения, в которых токовые импульсы создаются электронными пучками. Такие генераторы могут найти применение для радиоспектроскопических исследований сложных молекулярных соединений, что, в частности, представляет интерес для решения такой актуальной задачи, как обнаружение и идентификация взрывчатых веществ.

Литература

1. Mangles S.P.D. et al. Monoenergetic beams of relativistic electrons from intense laser-plasma interactions. – Nature, v. 431, p. 535, 2004.
2. Faure J. et al. A laser-plasma accelerator producing monoenergetic electron beams. – Nature, v. 431, p. 541, 2004.
3. Thomas K. Electrons hang ten on laser wake. – Nature, v. 431, p. 515, 2004.
4. Briesmeister J.F. (Editor). MCNP – a General Monte-Carlo N-Particle Transport Code. Version 4B. 1997.
5. Чернухин Ю.И., Симоненко В.А. Электромагнитное излучение радиационно-возбуждаемого токового импульса в прозрачной диэлектрической среде без дисперсии. – Препринт ВНИИТФ № 208.2004.

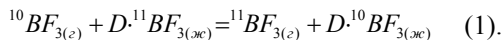
ФАЗОВОЕ И ИЗОТОПНОЕ РАВНОВЕСИЕ В ХИМОБМЕННЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ БОРА

Андреева О.Ю., Бирюкова А.О., Лизунов А.В., Хорошилов А.В.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

Бор и его соединения с измененным относительно природного изотопным составом широко используются в различных областях науки, техники и медицины. Широкий спектр их применения основан на резком различии в ядерно-физических свойствах изотопов бора – сечение захвата тепловых нейтронов для изотопов ^{10}B и ^{11}B отличаются примерно в 80 000 раз (3850 и 0,05 барн соответственно). Главная область применения изотопа ^{10}B — ядерная энергетика, где он используется для регулирования реактивности промышленных ядерных реакторов в качестве составной части стержней аварийной защиты или регулирующих стержней реакторов на тепловых и быстрых нейтронах. Другой важной областью использования изотопа ^{10}B в ядерной энергетике является его применение как основы для антиактивационных покрытий, предотвращающих нейтронную активацию конструкционных материалов реакторов и вспомогательного оборудования; транспортных средств, используемых при транспортировке ядерных отходов.

Для разделения изотопов бора с целью получения ^{10}B преимущественно используется метод химического изотопного обмена между газообразным BF_3 и его жидким комплексным соединением с органическим веществом — комплексообразователем (D). Комплексные соединения способны обмениваться с BF_3 по реакции изотопного обмена (1):



В качестве комплексообразователя наибольшее практическое применение получили простые эфиры (диметиловый, диэтиловый) и сложный метил-фениловый эфир или анизол, при этом, рабочая система на основе последнего характеризуется коэффициентом разделения изотопов бора близким к значению $\alpha=1,03$ при комнатной температуре. С использованием этих комплексообразователей произведено основное количество изотопнообогащенной продукции в мире. В настоящее время производство стабильных изотопов бора в России отсутствует.

Поиск новых, более эффективных с производственной и экономической точек зрения комплексообразователей остается практически значимой задачей. В работе в качестве перспективных соединений исследованы триалкилфосфаты нормального строения с числом атомов в углеводородном радикале от 1 до 4, а также первый

член гомологического ряда алифатических нитросоединений — нитрометан. Изучена комплексообразующая способность вышеуказанных соединений; определены коэффициенты разделения изотопов бора, численно равные константе равновесия реакции (1). Полученные данные по фазовому равновесию представлены в таблицах 1 и 2, по изотопному равновесию – в таблице 3.

Таблица 1. Мольное отношение для исследованных комплексообразователей при температуре 293К.

Комплексообразователь	ТМФ	ТЭФ	ТПФ	ТБФ	MeNO ₂
г, моль BF ₃ /моль к.о.	1,08 ± 0,03	1,29 ± 0,04	1,33 ± 0,02	1,32 ± 0,02	0,148 ± 0,004

Пояснения к табл.1: здесь и далее ТМФ – триметилфосфат, ТЭФ – триэтилфосфат, ТПФ – три-н-пропилфосфат, ТБФ – три-н-бутилфосфат.

Таблица 2. Мольное отношение для нитрометана в зависимости от температуры.

T, К	308	293	273	257	253
г, моль BF ₃ /моль MeNO ₂	0,073 ± 0,004	0,148 ± 0,004	0,384 ± 0,005	0,720 ± 0,004	0,760 ± 0,005

Таблица 3. Коэффициент разделения изотопов бора (α) в системах состава BF₃ (г)-D-BF₃ (ж) при температуре 293К.

Комплексо- образователь	ТМФ*	ТПФ	ТБФ	MeNO ₂
α	1,046 ± 0,009	1,036 ± 0,005	1,035 ± 0,005	1,045 ± 0,004

Анализируя полученные данные, можно отметить, что измеренные величины коэффициента обогащения ε ($\varepsilon = \alpha - 1$, где α — коэффициент разделения) превышают аналогичные значения для таких комплексообразователей, как анизол и диэтиловый эфир, на (15–70)%. В гомологическом ряду триалкилфосфатов наблюдается снижение коэффициента разделения с ростом длины углеводородного радикала, для ТБФ величина коэффициента обогащения становится соизмеримой с аналогичной величиной для анизолола. Полученные данные свидетельствуют о перспективности применения исследованных комплексообразователей в качестве рабочего вещества при разделении изотопов бора в лабораторном и промышленном масштабах.

МАЛАЯ ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ И СССР

Артемова Н.М., Макиенко Т.А.

*Московский инженерно-физический институт
(государственный университет)*

Несмотря на существенную значимость и перспективы развития ядерных энергетических установок большой мощности в России, несомненно, существенную роль в экономике и хозяйстве такой крупной и северной страны может и должна сыграть малая атомная энергетика. Малые ЯЭУ, например, такие как, установки для гражданского атомного флота, а также установки малой мощности, имеют ряд преимуществ перед атомными установками больших масштабов. Основным преимуществом малых ядерных установок является их мобильность, экономичность: на установку меньших размеров требуется меньшие капитальные затраты, меньше обслуживающего персонала, их можно подвезти в труднодоступные места.

История развития малой ЯЭ началась в начале 50-х годов когда в нашей стране осуществлялся поиск путей мирного использования атомной энергии. На ледоколе «Ленин» использовались реакторные установки первого поколения ОК-150. В состав установки входили три корпусных водо-водяных реактора. Одним из оригинальных нововведений в конструкции было то, что во избежание влияния вибрации использовались главные циркуляционные насосы первого контура с горизонтальными роторами.

В середине 60-х годов была разработана реакторная установка второго поколения типа ОК-900, предназначенная для энергоснабжения ледоколов. В новой установке было два реактора. Число циркуляционных петель увеличилось до четырех. Был полностью учтен опыт эксплуатации первой реакторной установки.

Следующим этапом развития гражданского флота явилась разработка и постройка однореакторных установок третьего поколения КЛТ-40. Реакторная установка КЛТ-40 спроектирована на базе унифицированного оборудования и компоновки ОК-900 в соответствии с требованиями «Прав ядерной безопасности и судовых ЯУЭ». В КЛТ-40 улучшена конструкция защитной оболочки, предусмотрены дополнительные меры безопасности.

Одним перспективных направлений использования транспортных реакторных установок является возможность их реализации в плавучих водопреснительных комплексах. Есть предположение о разработке российско-канадского проекта ядерного

энергетического комплекса, использующего атомный плавучий энергоблок и опреснители на базе новой технологии опреснения морской воды методом обратного осмоса.

Несколько лет назад специалистами Российского научного центра «Курчатовский институт» была предложена концепция нового ядерного реактора с принципиально иной эксплуатационной и инфраструктурной парадигмой долгоживущей ядерной батарееки — реактор Марс (расплавно-солевой, предназначенный для использования в труднодоступных и удаленных регионах). При доставке жидкосолевой теплоноситель находится в замороженном состоянии. По окончании эксплуатации установка заменяется на новую, а отработавшая свой срок установка поступает на переработку.

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования различных переходных режимов. В реакторных установках будущего будут устранены причины вызывающие течь первого контура: неустойчивый режим течения теплоносителя в области теплообмена с большим градиентом температуры, неупорядоченное смешивание потоков теплоносителя. Будет внедрен режим работы, уменьшающий повреждаемость наиболее нагруженных элементов, снижено влияние термоциклирования. Актуальной задачей является обеспечение герметичности оболочки, в перспективе есть возможность повысить энергоресурс и срок службы, будет снижена нагруженность элементов. Обращается большое внимание на необходимость удовлетворения требованиям современных нормативных документов по безопасности.

В работе последовательно проанализированы основные этапы развития малой ядерной энергетики, выявлены основные тенденции развития этого направления. Подводя итоги можно отметить, что в нашей стране накоплен уникальный в мировом масштабе опыт развития гражданского атомного флота, опыт создания надежных ядерных установок. Многолетний опыт эксплуатации в нашей стране транспортных реакторных установок доказывает их высокую надежность и безопасность. Таким образом, реализуемые на их основе, проекты судов, ТЭС и энергоопреснительных комплексов, могут представлять реальный коммерческий интерес и побудить российских и иностранных инвесторов к участию в реализации этих проектов.

Литература

1. Макаров В.И. Опыт создания и эксплуатации реакторных установок гражданских судов // Ядерная энергетика. 2000.

2. Ядерное общество. № 5-6, декабрь, 2003, № 1, февраль, 2004.
3. Митинков Ф.М. Результаты двадцатилетней эксплуатации ЯППУ ОК-900 атомного ледокола Ленин – в книге международный семинар «Атомная энергия на море. Безопасность и экология» // Мурманск, 1990.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕМБРАННОЙ ЭКСТРАКЦИИ РЗЭ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Бахарев М.С., Фомичев А.А., Копырин А.А., Афонин М.А.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

В процессах переработки облученного ядерного топлива важной проблемой является выделение и разделение лантанидов и актинидов. Проведение процесса экстракционного разделения в системах, где состояние равновесия не достигается, может позволить получить более высокие факторы разделения для близких по свойствам элементов за счет различий в кинетике их экстракции и реэкстракции [1]. Математическое моделирование процессов экстракции редкоземельных элементов (РЗЭ) в нестационарных условиях позволит найти оптимальные условия их разделения.

Разработана математическая модель нестационарной мембранной экстракции с блоками инициирования химических (колебательная реакция Белоусова – Жаботинского (БЖ)), электрохимических и температурных колебаний. В основе модели лежит система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающая динамику изменения концентраций компонентов всех реакций системы. В качестве модели реакции БЖ используется необратимый Орегонатор Филда – Нойеса [2]; экстракционной части модели соответствует набор уравнений реакций экстракции и реэкстракции присутствующих в системе элементов. Дифференциальные уравнения, отвечающие каждой из реакций, включают в себя температурную зависимость скорости реакции (уравнение Аррениуса). Вычисление шага интегрирования при решении системы уравнений осуществляется с помощью алгоритма Гира [3].

На основе разработанной математической модели проведено исследование как одноэкстракторных систем, так и систем из двух экстракторов, связанных между собой посредством органической фазы (сплошной жидкой мембраны); изучены закрытый и проточный

варианты реализации колебательной экстракции. Осуществлено моделирование соответствующих экспериментов. Достигнуто хорошее качественное и удовлетворительное количественное согласие экспериментальных и расчетных временных зависимостей поведения систем. Определены значения констант скоростей химических реакций, протекающих в исследованных системах; для некоторых случаев найдены также величины энергий активации этих реакций. Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанная математическая модель способна вполне адекватно описывать различные варианты реализации процессов экстракционного разделения РЗЭ в нестационарных условиях.

Литература

1. Копырин А.А., Афонин М.А., Фомичев А.А. Кинетика экстракционных процессов разделения РЗЭ в неравновесных условиях // Радиохимия. 2006. Т. 48. № 5. С. 412-416.
2. Field R.J., Noyes R.M. Oscillations in Chemical Systems. IV. Limit Cycle Behavior in a Model of a Real Chemical Reaction // J. Chem. Phys. 1974. V. 60. № 5. P. 1877-1884.
3. Полак Л.С., Гольденберг М.Я., Левицкий А.А. Вычислительные методы в химической кинетике. М.: Наука, 1984. 280 с.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ РЗЭ ЖИДКИМИ МЕМБРАНАМИ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Фомичев А.А., Битков Г.А., Копырин А.А., Афонин М.А.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)*

В процессах переработки облученного ядерного топлива важной проблемой является выделение и разделение лантанидов. Исследование кинетики экстракции близких по свойствам элементов позволит найти оптимальные условия их разделения.

Разработан новый методологический подход к исследованию кинетики экстракции РЗЭ. Изучено влияние периодических колебаний температуры на процессы экстракции и реэкстракции в экстракционных системах: № 1: $6M NaNO_3 - Nd(NO_3)_3 - Pr(NO_3)_3 - ТБФ - \text{керосин}$ и № 2:

[Nd(NO₃)₃·3ТБФ] – [Pr(NO₃)₃·3ТБФ] – керосин – 0,1 М HNO₃. Для поддержания неравновесных условий экстракционной системы в экстракторе (экстракторах) инициируются температурные колебания [1]. Для определения концентраций металлов в водной и органической фазе, при их совместном присутствии, используются спектрофотометры, позволяющие регистрировать спектры в диапазоне частот 200–1100нм. Для расшифровки спектров нескольких элементов и их регистрации в режиме реального времени с периодом 10–20сек разработано специальное программное обеспечение. Помимо концентраций металлов, в режиме реального времени регистрируются такие параметры системы как температура и скорость перемешивания фаз.

Разработана математическая модель нестационарной мембранной экстракции с блоками инициирования химических, электрохимических и температурных колебаний. Вычислены значения энергий активации для прямых и обратных реакций экстракции и реэкстракции Pr и Nd из экспериментальных временных зависимостей концентрации металлов и температуры.

На основе полученных констант скоростей экстракции, энергий активации и предложенной математической модели проведена оптимизация экстракционного процесса разделения РЗЭ жидкой мембраной под воздействием периодических колебаний температуры. Найдены оптимальные условия разделения: частота и амплитуда температурных колебаний, распределение объема органической фазы между экстракторами и скорость потока жидкой мембраны.

Литература

1. Копырин А.А., Афонин М.А., Фомичев А.А. Кинетика экстракционных процессов разделения РЗЭ в неравновесных условиях, Радиохимия, 2006, т. 48, № 5, с. 412-416.

УРАНСОДЕРЖАЩИЕ ХЛОРИДНЫЕ РАСПЛАВЫ КАК ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО И СРЕДА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ

Бокавчук А.В., Катышев С.Ф.

Уральский государственный технический университет - УПИ

В настоящее время исследуются различные модели замкнутого топливного цикла ядерной энергетики с альтернативными решениями

энергетических реакторных установок и технологических процессов всех образующих топливный цикл предприятий. Рассматриваются реакторы на расплавленных галоидных солях, с газовыми и свинцовыми теплоносителями, различные композиции ядерного топлива, различные технологии радиохимической переработки топлива (электролиз, высокотемпературная экстракция и др.). Естественно, необходим поиск оптимальной перспективной технологии.

В качестве одного из возможных видов топлива ядерных реакторов на быстрых нейтронах, способных обеспечить расширенное воспроизводство делящихся материалов, предполагается использовать смеси расплавленных солей: хлориды урана и плутония в смеси с солями разбавителями, в качестве которых могут быть хлориды лития, натрия, калия, магния, кальция и свинца. Как показали оценочные расчеты, хлоридные смеси вполне пригодны в качестве материалов зоны воспроизводства ядерного горючего. Интерес к топливу в виде солевых расплавов определяется легкостью и относительно небольшой стоимостью приготовления, возможностью проведения непрерывной очистки его от продуктов деления и изменения состава смеси в процессе работы реактора и организации теплосъема. Все это подтверждено исследованиями на жидко-солевых реакторах MSRE и MSBR (США).

Переработка отработавшего ядерного топлива, которая обеспечивает утилизацию запасов плутония и возврат в топливный цикл невыгоревшего ^{235}U , реальна с использованием электрохимической технологии в расплавах хлоридов щелочных металлов. Разработана технологическая схема процесса переработки облученного оксидного уран-плутониевого топлива и обеспечения его рецикла в реакторах на быстрых нейтронах, включая: растворение топлива в расплаве хлоридов щелочных металлов хлорированием, очистку расплава от электроположительных продуктов деления (ПД) электролизом разделения, осадительную кристаллизацию и извлечение из расплава диоксида плутония, доизвлечение урана электролизом и концентрирование ПД осаждением фосфатов. Наилучшие результаты получены с использованием смеси NaCl-KCl и в присутствии в расплаве UCl_4 (до 40%). Процесс исследован и отработан на облученном смешанном топливе реактора БН-350. Предложенный метод принципиально может быть использован для одновременной переработки топлива активной зоны и зоны воспроизводства.

Выбор оптимального состава солевых смесей, эффективных методов теплосъема, способов переработки облученного ядерного горючего также не возможен без всестороннего исследования физико-

химических, теплофизических, коррозионных и ядерных свойств возможных солевых композиций, сведения о которых весьма ограничены.

Плотность и поверхностное натяжение измерены в широких температурных и концентрационных интервалах, для тройных расплавов состоящих из хлоридов урана и щелочных металлов методом максимального давления в пузырьке газа. Для расплавов этих же систем исследована вязкость методом крутильных колебаний цилиндрического тигля с расплавом.

Наибольший интерес представляет рассмотрение объемных свойств трехкомпонентных расплавленных смесей, где взаимное поляризующее воздействие катионов оказывает еще большее влияние на устойчивость комплексных группировок урана. Установлено, что при образовании тройного расплава определяющим фактором является тройное взаимодействие, а вклад изменения объема при образовании двойных смесей сравнительно мал.

Это проявляется также в концентрационных зависимостях поверхностного натяжения расплавов и избыточных молярных термодинамических функций поверхностного слоя, вид которых определяется соотношением концентраций хлоридов трех- и четырехвалентного урана, отрицательных отклонениях поверхностного натяжения расплавов от идеальности. В концентрационных областях, отвечающих кристаллизации химических соединений в расплавах, происходят наибольшие структурные превращения с образованием комплексных группировок урана.

Изучение вязкости бинарных и тройных расплавов хлоридов урана с хлоридами щелочных металлов выявило сложность взаимодействий между компонентами в смесях. Еще раз подтверждено, что вязкость расплавов солей и их смесей обусловлена различной подвижностью ионов. Наличие комплексообразования выражается в повышении вязкости расплавов, в отклонениях молярной вязкости от идеальных кривых и в возрастании энергии активации вязкого течения. Определяющую роль в вязком течении оказывает ионный состав смеси, который влияет на устойчивость образующихся комплексных группировок, что отражается в увеличении максимальных отклонений от идеальности при переходе от расплавов бинарных смесей с NaCl к расплавам с CsCl и замене катиона натрия в тройных расплавах на более поляризуемый катион калия.

Полученный массив экспериментальных данных по объемным, поверхностным и транспортным свойствам, термодинамическим

характеристикам расплавленных смесей галогенидов щелочных металлов с хлоридами урана рекомендуется использовать:

- при выборе композиций материала активной зоны или зоны воспроизводства жидкосолевых быстрых реакторов;
- при подборе электролитов для электролитического получения и рафинирования урана, а также переработке ТВЭЛов;
- для проведения конструкторских и технологических расчетов ядерных реакторов, электролизеров и других аппаратов.

ИЗУЧЕНИЕ ФАРМАКОКИНЕТИКИ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОФАРМПРЕПАРАТА ^{188}Re -МСА В ОРГАНИЗМЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

Боровая О.Н.

*Обнинский государственный технический университет
атомной энергетики*

Сморызанова О.А., Петриев В.М., Скворцов В.Г.

ГУ МРНЦ РАМН, г. Обнинск

В настоящее время в ядерной медицине для диагностики и лечения онкологических заболеваний широко применяют радиоизотопы и меченые соединения, что приводит к интенсивному поиску, разработке и освоению выпуска новых РФИ самого различного спектра действия. Цель работы — изучение фармакокинетических характеристик радионуклида ^{188}Re , связанного с микросферами альбумина крови человека (МСА) в организме экспериментальных животных для оценки возможности использования его в качестве лечебного препарата с селективным способом доставки.

Радиофармпрепарат ^{188}Re -МСА разработан и получен в лаборатории экспериментальной ядерной медицины МРНЦ РАМН. Радионуклид ^{188}Re — короткоживущий ($T_{1/2}=17$ ч), β -излучающий ($E_{\text{ср}}=764$ кэВ), имеющий в спектре γ -компоненту ($E_{\text{ср}}=155$ кэВ) [1]. Рений легко вступает в реакции с различными комплексонами, белками, пептидами и др. Так, соединяясь с альбумином, ^{188}Re превращается в радиофармпрепарат — ^{188}Re -МСА, обладающий специфическими свойствами. В данном случае МСА служат транспортным средством для доставки радионуклида в зону опухоли [2].

Для изучения фармакокинетических параметров беспородным белым мышам внутривенно (в хвостовую вену) и внутримышечно (в мышцу бедра задней лапки) вводили РФП (5-10 мкКи/мышь) и проводили наблюдение в течении трех суток за распределением радиоактивности по органам и тканям. В качестве контроля использовался раствор перрената натрия ($\text{Na}^{188}\text{ReO}_4$) в 0,9% NaCl.

Показано, что внутривенное введение препарата позволяет создавать очаг накопления радиоактивности в легких, что не наблюдается при таком же введении контрольного препарата (рис.1). Внутримышечное введение приводило к накоплению активности локально в мышце бедра, причем в течение одного часа сохраняется 100% количество введенной активности, с последующим медленным выведением радионуклида. Но и через трое суток в месте введения РФП регистрируется 50% радиоактивности (рис.2).

Измерение радиоактивности в крови, щитовидной железе, печени, почках, селезенке, желудке показало, что в этих органах радионуклид накапливается в значительно меньшей степени, а выводится во много раз быстрее, по сравнению с органами, в которые целенаправленно вводился ^{188}Re -MCA.

На основе полученных данных можно прогнозировать, что введение ^{188}Re -MCA в область опухолевого роста приведет к локальному облучению новообразования с одновременной минимальной радиационной нагрузкой на нормальные органы и ткани.

Это дает возможность считать микросферы альбумина, меченные ^{188}Re , новым перспективным препаратом для лечения онкологических заболеваний при селективном способе доставки.

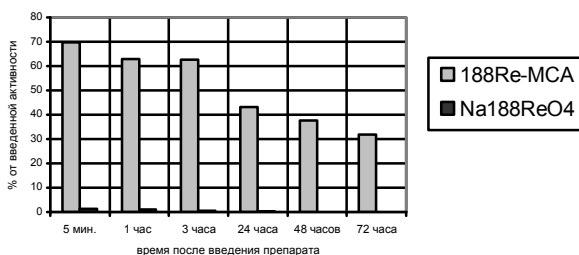


Рисунок 1. Процентное содержание радиоактивности в легких при внутривенном введении ^{188}Re -MCA.

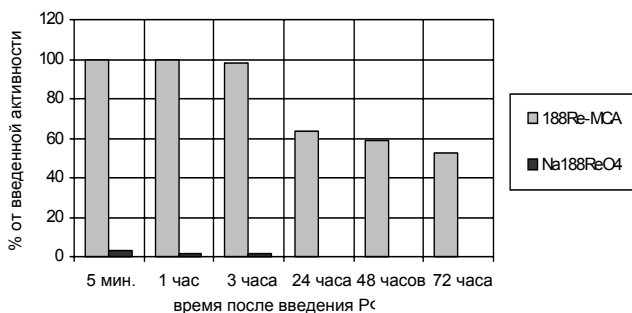


Рисунок 2. Процентное содержание радиоактивности в мышце бедра при внутримышечном введении $^{188}\text{Re-MCA}$.

Литература

1. Шаркова О.В., Степченков Д.В., Семенова А.А. и др., сборник докладов Всероссийской Научно-практической Конференции «Современные проблемы ядерной медицины и радиофармацевтики», г.Обнинск (2002), с. 20-24.
2. Petriev V.M., Skvorzov V.G., Demidova N.A. et al. Development Method of ^{188}Re -albumin microspheres production for radionuclid tumors therapy. In: Proc. All Russian Research and Practical Conference, «Actual Questions of Nuclear Medicine», Dubna 2004; 29-32.

СОВМЕСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ U И SE В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Будяк А.А., Афонин М.А., Копырин А.А.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

При переработке ОЯТ важной задачей является очистка U от примесей Се и других продуктов деления. Исследование совместной экстракции U и Се в нестационарных условиях, позволит производить более эффективную очистку U.

Для исследования колебательной экстракции U и Се три-н-бутилфосфатом использовалась реакция Белоусова-Жаботинского (Б-Ж),

которая дает возможность проведения экстракции в нестационарных условиях, далеких от термодинамического равновесия.

В режиме реального времени регистрировались следующие параметры системы: температура, скорость перемешивания фаз, Ph, Red/Ox- потенциал, сила тока, напряжение.

Полученные данные показали изменения концентрации Ce^{4+} и UO_2^{2+} в органической и водной фазах с течением времени. Оказалось, что церий, будучи катализатором реакции Б-Ж, которая происходит в водной фазе, также участвует в экстракционном процессе. Очевидно, церий поочередно экстрагируется, а затем реэкстрагируется за счет реакции Б-Ж.

Показано, что два металла в условиях неравновесной экстракции взаимно влияют на распределение друг друга. Колебания коэффициента распределения церия синхронны с потенциалом.

Получена зависимость концентрации от параметров колебательной реакции и коэффициентов распределения элементов.

Показана возможность управления процессом экстракции U в присутствии Ce, посредством колебательной реакции Б-Ж в нестационарных условиях.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ РАСЧЕТА И УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Виноградов Ю.С., Паусов А.Ю.

Северская государственная технологическая академия

В настоящее время процесс автоматизации объектов в атомной отрасли немислим без использования микроконтроллеров и систем автоматического расчета.

Основная цель исследования — разработка программ для обеспечения SCADA-систем и расчета линейных систем в математическом пакете MATLAB.

Для получения студентами практических навыков работы со SCADA-системами и микроконтроллерами ООО «ЛМТ» (г. Санкт-Петербург) разработан микропроцессорный комплекс SDK 1.1 на базе микропроцессора ADuC842. Для данного комплекса разработан протокол передачи данных между ЭВМ и микроконтроллером. Для SDK 1.1 написана программа обработчика команд на языке C, передача информации между ЭВМ и модулем идет по интерфейсу RS-232.

На основе разработанного протокола передачи данных создан драйвер сопряжения микроконтроллера и SCADA-системы.

Создана программа с графическим интерфейсом ввода и вывода информации для расчета линейных систем автоматического регулирования в среде MATLAB. Использование созданной программы в учебном процессе позволяет производить расчет параметров исследуемой системы в интерактивном режиме.

Литература

1. Сайт <http://lmt.cs.ifmo.ru>.
2. Система интеллектуальных модулей «Теконик» — руководство по эксплуатации.
3. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MATLAB 6.x.: программирование численных методов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 672 с.: ил.
4. Бахвалов Н.С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения). – М.: Главная ред. физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973. – 631с.
5. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В., Крунлов В.В. MATLAB 5.3.1 с пакетами расширений. Под ред. проф. Дьяконова В.П. – М.: Нолидж, 2001. – 880 с.: ил.

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ ТОРИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ СОРБЕНТАМИ ИЗ РАСТВОРОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

Бетенеков Н.Д., Волков Ф.А., Недобух Т.А., Виткалов М.Н.

Уральский государственный технический университет – УПИ

Проблема выделения и концентрирования микроколичеств тория возникает при решении многих задач. Прежде всего, это определение радионуклида ^{232}Th в питьевой воде, что в соответствии с НРБ-99 является обязательным. Уровень вмешательства для данного радионуклида установлен $6,0 \cdot 10^{-1}$ Бк/кг. Для определения удельной активности тория даже на этом уровне требуется осуществление многостадийной методики, необходимой стадией которой является

концентрирование и отделение от урана в случае последующего определения изотопного состава методом α -спектрометрии.

Еще один круг проблем связан с расширением применения радионуклидов в медицинской практике: радиодиагностике и радиотерапии. Одним из наиболее перспективных радионуклидов для применения в терапии онкологических и других заболеваний является ^{213}Bi . Во всем мире сейчас проводятся исследования по разработке медицинских препаратов на основе этого изотопа, которому предвещают большое будущее и уделяют большое внимание крупнейшие клиники мира. Его преимущества как радиофармпрепарата неоспоримы: период полураспада — 46 мин., при его распаде образуется ^{213}Po с периодом полураспада 4,2 мкс и энергией α -излучения 8,3 МэВ. В результате терапевтический эффект достигается за счет высокоэнергетичного излучения полония-213, а его малый период полураспада способствует тому, что он не успевает уноситься потоком крови от места воздействия на опухоль. Висмут-213 является дочерним продуктом распада актиния-225 (период полураспада — 10 суток), поэтому непосредственно для применения необходимо создание изотопного генератора $^{225}\text{Ac} - ^{213}\text{Bi}$. ^{225}Ac , в свою очередь, образуется при распаде ^{229}Th , а получение ^{229}Th возможно путем его отделения от материнского ^{233}U . Таким образом, создание изотопного генератора $^{225}\text{Ac} - ^{213}\text{Bi}$ возможно только при решении нескольких задач, одной из которых является получение радионуклидно чистого препарата ^{229}Th путем выделения его из растворов ^{233}U .

Для разработки методик концентрирования радионуклидов тория из различных объектов и выделения из растворов урана использован радионуклид ^{234}Th . Описана методика выделения ^{234}Th из растворов нитрата уранила, выдержанных в течение времени, необходимого для достижения радиоактивного равновесия между ^{238}U и ^{234}Th . Выделение тория проводилось путем сорбционного концентрирования в динамических условиях на неорганическом сорбенте марки Т-5 на основе гидроксида титана. Коэффициенты концентрирования тория и очистки его от урана за одну стадию составили не менее 10^3 . Полученный ^{234}Th использовали в качестве метки для изучения его сорбционного поведения в процессах концентрирования из природных вод и водных растворов с различным солесодержанием и кислотностью в статических и динамических условиях. На основании полученных результатов предложены условия концентрирования тория из природных вод и определена активность ^{232}Th в подземных водах Красноуфимского района в окрестности базы хранения 84 тыс. тонн монацитового

концентрата. Определение проводилось методом α -спектрометрии после предварительного концентрирования на неорганическом сорбенте марки Т-5. В результате установлено, что удельная активность ^{232}Th в подземных водах на порядки ниже уровня вмешательства.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НГ-12И ДЛЯ СОУДАРНОЗАХВАТНОЙ НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ

Габбасов Д.М.

Снежинская государственная физико-техническая академия

По современным представлениям не менее 70% онкологических больных нуждаются в том или ином виде лучевого лечения. Одним из перспективных способов повышения эффективности лучевой терапии является расширение диапазона применения плотноионизирующих излучений, в частности нейтронов различных энергий. Мировой опыт показывает, что нейтронная терапия предпочтительнее других видов лучевой терапии при лечении радиорезистентных опухолей, таких как опухоли слюнных желез, ряда сарком костных и мягких тканей, некоторых опухолей головы и шеи, меланом и др. Только по России число больных, которым показана нейтронная терапия, составляет 40-50 тыс. человек в год.

Наиболее доступной для лечения радиорезистентных опухолей является соударная нейтронная терапия (СНТ) и нейтронозахватная терапия (НЗТ). СНТ представляет собой подведение коллимированного пучка высокоэнергетических нейтронов к опухоли, примерно также как при γ -терапии. В качестве источников быстрых нейтронов чаще всего используются ускорители заряженных частиц, генерирующих нейтроны в реакциях типа (n,p), (n,d), (d,t). Для НЗТ используются нейтроны с $E_n \leq 10$ кэВ, в качестве источников которых используются ядерные реакторы. При НЗТ в опухоли вводится фармпрепарат, в состав которого входят элементы с большим сечением захвата тепловых нейтронов, чаще всего ^{10}B (борзахватная терапия — БЗНТ).

В настоящее время начинает развиваться еще один вид нейтронной терапии, являющийся комбинацией СНТ и БЗНТ, так называемая соударнозахватная терапия (СЗНТ), которая и является объектом данного исследования. При СЗНТ борный поглотитель нейтронов вводится в злокачественную ткань. Нейтронные пучки, используемые в СНТ имеют намного большую энергию, чем тепловые

пучки, используемые в БЗНТ, но часть нейтронов при прохождении биологической ткани термализуется и эта «мягкая» часть нейтронного спектра позволяет увеличить энерговыделение в опухоли за счет взаимодействия с ^{10}B , введенным в опухоль.

В РФЯЦ-ВНИИТФ совместно с Челябинским областным онкологическим центром (ЧООЦ) на нейтронном генераторе НГ-12И с 2000 г. проводятся работы по соударной нейтронной терапии [1]. Накоплен опыт лечения свыше 500 пациентов. Применение нейтронного излучения повышает эффективность лечения примерно в 1,5 раза, то есть результаты лечения свидетельствуют о перспективности данного метода.

Разумеется, существует обоснованное намерение улучшить перечисленные показатели, и настоящая работа посвящена именно этой цели. На нейтронном генераторе НГ-12И поставлен ряд экспериментов по выявлению возможности проведения на существующем терапевтическом пучке соударно-захватной терапии. Для исследования пространственного распределения поля нейтронного излучения в водном фантоме, установленном в процедурном боксе нейтронного терапевтического комплекса НГ-12И, использован нейтронно-активационный метод. В эксперименте использованы активационные резонансные и пороговые детекторы, применяемые для регистрации тепловых и быстрых нейтронов. Исходя из размеров головы человека, предполагается использовать только начальные 150 мм водного фантома (см. рис.).

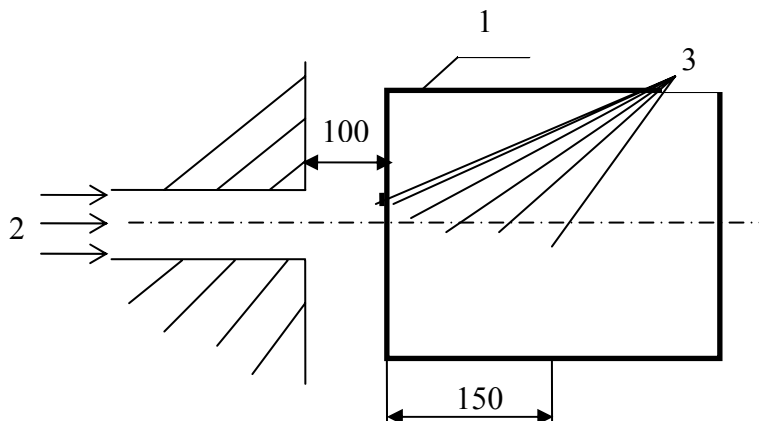


Рисунок. Геометрия эксперимента. 1-водный фантом; 2-нейтронный пучок; 3-расположение детекторов.

Опытно-расчетным способом было определено изменение флюенса нейтронов разных энергетических групп с глубиной водного фантома, что позволяет оценить выигрыш в лечебном эффекте при использовании ядер бора на позициях облучения.

Литература

1. Важенин А.В., Рыкованов Г.Н., Магда Э.П. и др., Известия Челябинского научного центра, специальный выпуск (25), 2004 г.

ПЛАВУЧИЕ АЭС — НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУДОВЫХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Беляев В.М., Грибов А.В., Панов Ю.К., Полуничев В.И., Шаманин И.Е.
ФГУП ФНПЦ «ОКБМ им. И.И. Африкантова»

Началом развития судовых ЯЭУ для гражданских судов считается 1959 г., когда в эксплуатацию вступил атомный ледокол «Ленин». В настоящее время эксплуатируется 15 реакторных установок типа КЛТ-40 на 8 ледоколах и лихтеровозе.

Одной из задач атомной энергетики России в настоящее время, является создание локальных атомных источников электроэнергии и тепла относительно небольшой мощности для отдаленных регионов Крайнего Севера и Дальнего Востока.

Атомные плавучие электростанции, открывая новое направление развития атомной энергетики, позволяют наиболее эффективно решить поставленную задачу.

Идея поставки на место размещения испытанного и сданного «под ключ» в промышленно развитой зоне ядерного энергоисточника станций-плавучего энергоблока, при минимальном объеме строительно-монтажных работ на площадке, весьма привлекательна.

Незначительный объем строительства на площадке в условиях уязвимости территории к антропогенным нагрузкам и высокие экологические показатели — важные аргументы в пользу ПАТЭС перед альтернативными источниками на органическом топливе.

Плавучий энергоблок (ПЭБ), представляет собой самоходное судно, включающее жилой и энергетический модули. В состав энергетического модуля входят две реакторные установки КЛТ-40С тепловой мощностью 150 МВт каждая, две паротурбинные установки

и электроэнергетическая система. ПЭБ может использоваться в двух режимах: с получением 2х19,4 МВт электрических + 2х73 Гкал/ч тепла, либо 2х35 МВт электрических + 2х25 Гкал/ч тепла.

В 2006 г. руководством концерна «Росэнергоатом» и ФГУП ПО «Севмаш» подписан договор на строительство и поставку плавучего энергоблока с двумя реакторными установками КЛТ-40С для ПАТЭС ММ. Соответствующие договора подписаны с поставщиками реакторных установок (ОКБМ), ПТУ (Калужский турбинный завод) и др.

Радиационное воздействие ПАТЭС на население и окружающую среду при нормальной эксплуатации и проектных авариях не вносит заметного вклада в естественный радиационный фон. При снятии с эксплуатации после окончания срока службы ПЭБ транспортируется к месту проведения его утилизации и захоронения с сохранением состояния района эксплуатации ПАТЭС «зеленая лужайка».

Потенциал рынка России, где возможно применение ПАТЭС на базе ПЭБ, оценивается в 250 пунктов размещения. На мировом рынке также довольно велик спрос на энергоисточники типа ПЭБ с РУ КЛТ-40С в составе комплекса, вырабатывающего электроэнергию и обессоленную воду.

ОЗОНО-РАДИАЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Дмитриев Н.Е., Хурамшина С.А.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

Темпы и объемы переработки нефти постоянно увеличиваются, при этом требуется большое количество воды – примерно 17 кубометров на 1 тонну нефти. В сбросных водах содержится большое количество вредных примесей, таких, например, как фенол, соединения железа, кальция, магния, сульфаты, сульфиды, нитраты, нитриты.

Содержание фенола в воде после установок первичной перегонки нефти (это первая и основная стадия переработки сырой нефти) превышает предельно допустимое в 1000 раз, а содержание сульфидов в сернистощелочных стоках в 150 раз. Традиционный способ очистки, состоящий из трех основных стадий – механической, физико-химической и биологической, не способен снизить концентрацию этих веществ в сточной воде до предельно допустимой.

Предлагается озono-радиационный способ очистки сточных вод с помощью электронного ускорителя. Облучение модельных водных растворов фенола в присутствии веществ содержащихся в стоке (нитраты, нитриты, сульфаты, сульфиды, соли аммония, хлориды) поглощенной дозе 500 Гр позволило уменьшить концентрацию с 28 мг/л до 9 мг/л.

Облучение модельных водных растворов сульфидов поглощенной дозой 1800 Гр привело к снижению их концентрации с 140 мг/л до 22 мг/л.

В настоящее время в Институте ядерной физики СО РАН разрабатываются и производятся ускорители электронов типа ЭЛВ. Рекомендовано для очистки стока всего НПЗ радиационный участок с двумя ускорителями электронов ЭЛВ-6м мощностью 160 кВт каждый, а для очистки сернистощелочных стоков использовать два ускорителя с локальной радиационной защитой ЭЛВ-0.5 мощностью 25 кВт каждый. В результате работы радиационной установки нарабатывается большое количество озона, что значительно повышает эффективность и качество очистки сточных вод.

СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ЦЕНТРА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ НА БАЗЕ ФГУП «ЭХП»

Зайцев М.Е., Кащеев Н.А.

Технологический институт (филиал) МИФИ, г. Лесной

В настоящее время происходит интенсивное развитие промышленности, где используются технологические процессы с использованием стабильных изотопов. Они также находят широкое применение в различных областях науки и медицины, что обуславливает увеличение потребления высокообогащенных изотопов.

Так в системе здравоохранения США радионуклиды используют как обязательный компонент при диагностике, лабораторных тестах и терапии. Примерно треть всех обратившихся за помощью пациентов США применяют процедуры, в которых используются радиофармацевтические препараты (РФП). Годовой оборот от этой индустрии составляет 7–10 млрд. долларов. До 2020 г. прогнозируется увеличение спроса на терапевтические нуклиды на уровне 7–14% в год.

Существует 9 основных способов разделения изотопов: электромагнитное разделение, газовая диффузия, жидкостная термодиффузия, газовое центрифугирование, аэродинамическая

сепарация, AVLIS (испарение с использованием лазера), химическое обогащение, дистилляция, электролиз. Все они обладают определенными недостатками, основными из которых являются низкая производительность и малый коэффициент обогащения. Эти недостатки ставят вопрос о создании единого специализированного центра, где будет сосредоточено производство стабильных изотопов всеми вышеперечисленными методами.

Комбинат «Электрохимприбор» имеет богатое научное прошлое. Его возникновение связано с мощной научной атакой с целью получения изотопов урана, лития и широкой номенклатуры стабильных изотопов.

В последние годы возросла потребность в моноизотопах некоторых редкоземельных элементов (таких как изотопы гадолиния для ядерной энергетики и изотопы самария для медицины). Использование процесса центрифугирования для разделения подобных изотопов – пока невыполнимая задача, но с ней легко справляется электромагнитный способ. Задача ФГУП «ЭХП» будет заключаться в получении новых изотопов и разработки ТП для их получения центрифугированием или другими высокопроизводительными методами.

Научные работы также могут быть направлены на изучение таких перспективных направлений как:

- совершенствование электромагнитного метода разделения;
- создание высокообогащенных радиофармпрепаратов;
- влияние радиации на свойства материалов;
- разработка новейших систем радиометрического измерения и контроля;
- гамма – дефектоскопия.

Для создания единого специализированного центра на базе «ЭХП» необходимо:

- увеличение финансирования наукоемких разработок;
- создание научно-исследовательских учреждений;
- привлечение молодых перспективных ученых;
- дополнение существующего фонда разделителей изотопов.

Все эти мероприятия по сосредоточению производства изотопов в одном месте позволят:

- выпускать готовую продукцию (радиофармпрепараты), а не сырье;
- расширить номенклатуру обогащенных изотопов;
- эффективно получать в больших (килограммовых) количествах изотопы с обычным обогащением, и в потребном количестве высокообогащенные изотопы.

ЭКСТРАКЦИЯ НИТРАТОВ УРАНИЛА, ТОРИЯ, ЛАНТАНА И ИТТРИЯ БИНАРНЫМИ ЭКСТРАГЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ЧАО И ВЫСШИХ ИЗОМЕРОВ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

Зайцев П.В.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)*

Синтезированы бинарные экстрагенты на основе триалкилбензиламмония и высших изомеров карбоновых кислот (ВИКК). Синтез экстрагентов проводился по схеме:

- реакция взаимодействия хлорида (нитрата) четвертичного аммониевого основания (ЧАО) с водным раствором гидроксида натрия;
$$R_4NB (B=Cl^-, NO_3^-)_{(O)} + NaOH_{(B)} \leftrightarrow R_4NOH_{(O)} + NaB_{(B)};$$
- промывка гидроксида ЧАО водой до pH=7-8;
- двухфазная реакция нейтрализации гидроксида ЧАО и ВИКК в стехиометрическом соотношении (A⁻-анион ди(2,4,4-триметилпентил)фосфиновой кислоты):
$$R_4NOH_{(O)} + HA_{(O)} \leftrightarrow R_4NA_{(O)} + H_2O_{(B)}.$$

При изучении процессов экстракции использован 0,34 моль/дм³ раствор карбоксилата триалкилбензиламмония в толуоле. Концентрации нитратов уранила(VI), тория(IV) лантана(III) и иттрия(III) в условиях опытов варьировались от 0 до 2-3 моль/дм³. Определены изотермы экстракции и пределы насыщения органической фазы нитратами уранила и тория.

Сформулированы предположения о составе экстрагируемых соединений и вычислены значения эффективных констант экстракции нитратов металлов.

Изучена совместная экстракция нитратов уранила (тория) и лантана (иттрия) при вариации концентрации компонентов от 0 до 2 моль/дм³ раствором карбоксилата триалкилбензиламмония в толуоле. Установлено, что коэффициенты распределения нитратов уранила и тория значительно выше, чем лантана и иттрия. Пределы насыщения органической фазы по нитратам уранила (тория) остаются практически такими же, что и при экстракции из водных растворов индивидуальных соединений.

Таким образом, бинарный экстрагент карбоксилат триалкилбензиламмония может быть использован для извлечения нитратов уранила и тория из водных растворов, содержащих значительные количества нитратов редкоземельных металлов.

ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОЙ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УКРАИНЫ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОЕКТА INPRO

Власенко Н.И., Афанасьев А.А., Зенюк Д.А.

ОП «Научно-технический центр» ГП НАЭК «Энергоатом»

Устойчивое энергоснабжение человечества в 21 веке потребует крупномасштабного развертывания атомной энергетики, так же как и других источников энергии.

15 марта 2006г. правительство (Кабинет Министров) Украины утвердило Стратегию развития энергетики Украины до 2030 г.

Согласно «Стратегии развития энергетики Украины до 2030 г.» планируется сохранить достигнутую долю (около половины) производства электроэнергии на АЭС в период до 2030 г. Для производства в 2030 г. на АЭС 219,0 млрд. кВт·час электроэнергии необходимо иметь 29,5 ГВт установленной мощности с КИУМ — 85%. Такое решение обосновывается, в первую очередь, наличием собственных ресурсов урана, стабильной (устойчивой) работой АЭС, потенциальными возможностями страны по созданию АЭС, и учитывает наличие технических, финансовых и экологических проблем при эксплуатации тепловой энергетики.

Представлены подходы при выполнении предварительной и сравнительной оценки по Методологии INPRO (IAEA TECDOC-1434) инновационных ядерных энергетических систем (ИЯЭС) Украины с эволюционными проектами ядерных энергетических установок, предлагаемых для внедрения в период до 2030 г. Системы должны соответствовать всеобъемлющей цели устойчивого энергообеспечения, способствовать укреплению принципов устойчивости в части защищенности от распространения и решению энергетических проблем на национальном и региональном уровнях.

Использование результатов оценок ИЯЭС с эволюционными проектами ядерных энергетических установок позволит сформировать информационные, методологические и научно-технические основы выбора инновационного проекта ЯЭС и соответствующего ЯТЦ, которые могут быть предложены для использования в Украине после 2030 г.

Для национального исследования в рамках проекта INPRO в период до 2030 г. принимается ИЯЭС, включающая АЭС с эволюционными РУ типа ВВЭР (PWR) мощностью 1000 (1200) и 1500 (1600) МВт, а также установки «переднего» и «заднего края» ЯТЦ. При этом за основу берутся основные параметры, используемые

в проекте Стратегии; рассматриваются варианты открытого и замкнутого ЯТЦ.

Для национального исследования в рамках проекта INPRO в период 2030–2050 гг. рассматривается ИЯЭС, включающая АЭС с введенными в более ранний период эволюционными РУ типа ВВЭР (PWR) и вводимыми замещающими мощностями на основе инновационных проектов с БР (БН 800÷1600), а также установки «переднего» и «заднего края» ЯТЦ, включая ЯУ промежуточного хранения ОЯТ и заводы по переработке ОЯТ.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЧЕТЧИКОВ «СИНАРА» В ПРОЦЕССЕ ИХ ЗАПОЛНЕНИЯ ГАЗОВОЙ СМЕСЬЮ

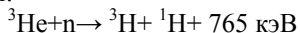
Иванушкин А.В.

Снежинская государственная физико-техническая академия

В РФЯЦ-ВНИИТФ изготавливаются пропорциональные нейтронные счетчики «СИНАРА».

Счетчик «Синара», предназначен для регистрации малых потоков нейтронов и имеет следующие параметры: диаметр 32 мм; длина ~1 м (может изменяться от 30 см до 2 м); рабочее напряжение $U_0 \sim 100-900$ В; разрешение по пику тепловых нейтронов — более 10% (при 650 В); стеночный эффект — 7%; давление газовой смеси ~10 атм.

Счетчик «Синара» представляет собой цилиндрический конденсатор, анодом которого является тонкая проводящая нить. Счетчик заполнен газовой смесью, в состав которой входит гелий-3. В результате реакции:



образуются заряженные частицы высокой энергии. Ионизация газа, вызванная заряженными частицами, инициирует процесс газового усиления, предшествующий регистрации нейтронов.

Уникальность счетчика состоит в низком уровне стеночного эффекта, то есть почти весь спектр сосредоточен в пике полного поглощения, а также в относительно малом рабочем напряжении (аналогичные счетчики работают при напряжении более 1000 В). Оптимальное рабочее напряжение, при котором достигаются наилучшие параметры счетчиков, составляет 550 В.

В настоящее время счетчики изготавливаются для Завода Точной Механики (ЗТМ) г. Екатеринбурга. Одним из требований договора

является достижение заданных параметров при рабочем напряжении 650 В.

При оптимальном рабочем напряжении параметры счетчиков достаточно близки. Но при работе на повышенном напряжении наблюдается эффект значительного разброса параметров счетчиков, выявленный при испытании пробной партии.

При изготовлении счетчиков наибольшее влияние на разброс параметров оказывает разнотолщинность анодной нити и разброс давления газовой смеси. Как наиболее простой вариант была выбрана регулировка давления с одновременным контролем параметров. Исходя из этого, и возникла задача измерения параметров счетчиков в процессе их заполнения. Проведен комплекс измерений параметров счетчиков (амплитудное разрешение по пику тепловых нейтронов, коэффициента газовой усиления) и подгонка относительного отклонения положения максимума пика амплитудного распределения импульсов до необходимых значений. При заполнении счетчика газовой смесью до определенного давления, производился набор статистики для определения интересующих параметров.

В результате достигнуты параметры партии счетчиков, проходящие по требованиям технических условий (относительное отклонение положения максимума пика амплитудного распределения импульсов не более 10% и амплитудное разрешение по пику тепловых нейтронов не более 10%).

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ РУТЕНИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В РЕАКЦИИ ГОМОМОЛЕКУЛЯРНОГО ИЗОТОПНОГО ОБМЕНА ВОДОРОДА

Искандарова Е.Ф.

ФГУП «ПО «Маяк»

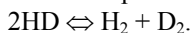
Боева О.А., Жаворонкова К.Н., Быстрова О.С.

Российский химико-технологический институт им. Д.И. Менделеева

Одним из перспективных методов получения дейтерия является низкотемпературная ректификация жидкого водорода.

Для получения чистого дейтерия из природного сырья этим методом необходимо комбинировать процесс ректификации

с каталитическим разложением HD в отдельном реакторе:



Катализатор процесса разложения HD должен обладать высокой активностью и стабильностью при низких температурах.

Ранее были исследованы нанесенные катализаторы на основе переходных d-металлов. Показано, что наибольшей активностью в исследуемой реакции обладали нанесенные рутениевые катализаторы. Эффективность нанесенного катализатора определяется природой активного компонента (металла), размерами и формой нанесенных частиц, динамикой их поверхности (реконструкция, сегрегация), а также свойствами и природой носителя, который может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на каталитическую активность. Для выяснения влияния носителя необходимо изучить поведение в данной реакции чистого металла.

Цель работы — исследование каталитических свойств пленок рутения, напыленных в сверхвысоком вакууме.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- напылить из массивного металлического образца пленки рутения;
- изучить адсорбционные свойства пленок рутения;
- определить температурную зависимость удельной каталитической активности;
- сравнить каталитические свойства пленок рутения со свойствами нанесенных рутениевых катализаторов.

Изучение адсорбционных свойств пленок заключалось в определении их поверхности, расчете теплоты адсорбции водорода и количества слабосвязанного водорода на поверхности рутения при разных температурах. Адсорбционные измерения проводились объемным методом в калиброванных объемах при давлении 0,1–1,3 Па (10^{-3} – 10^{-2} мм.рт.ст.).

Исследование каталитических свойств пленок заключалось в изучении зависимости удельной каталитической активности от температуры и расчете энергии активации процесса. Измерение скорости исследуемой реакции проводили статическим методом без циркуляции газовой смеси при давлении 66,5 Па (0,5 мм рт. ст.). Анализ газовой смеси осуществляли непрерывно методом теплопроводности, основанном на различной ротационной теплоемкости молекул H_2 , D_2 и HD при низких температурах.

Впервые исследована адсорбция водорода на пленках рутения в широком интервале температур (-196÷140°С), что позволило построить изобару адсорбции, показавшую наличие трех областей, и рассчитать значения изостерических теплот адсорбции.

Изучена кинетика изотопного обмена в интервале температур - 196÷160°С. Показано, что во всем исследованном интервале характер температурной зависимости удельной каталитической активности неизменен, энергия активации равна 2,4 кДж/моль, предэкспоненциальный множитель – $2 \cdot 10^{16}$ молекул/(см²·с).

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕНОСА КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГИДРОМОДЕЛИ РЕАКТОРА НА НАТУРНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЧИСЕЛ РЕЙНОЛЬДСА

Карташов К.В., Авдеев Е.Ф.

Обнинский государственный технический университет атомной энергетики

Одной из задач физического гидравлического моделирования натурального объекта на гидромоделях является экспериментальное установление полного (приведенного) коэффициента сопротивления и обоснование переноса его значения на натуральный объект для выбора его силового оборудования.

Однако в лабораторных условиях на гидромоделях, как правило, не удастся достигать значений чисел Рейнольдса, характерных для натурального объекта. Поэтому проводится приближенное моделирование при меньших значениях чисел Рейнольдса, а перенос найденного значения коэффициента сопротивления обосновывается практически существующей автомодельностью коэффициентов сопротивления, начиная с некоторых значений числа Рейнольдса.

Предлагается более точный способ переноса экспериментальных значений коэффициентов на натуральный объект.

По опытным данным строится график зависимости $\lg \Delta p_m \sim f(\lg V_m)$ (Δp_m - перепад давления на гидромодели, V_m - средняя скорость на модели в характерной проточной части), по которому находится действительный показатель степени «n» при средней скорости

$\Delta p_M \sim V_{cp}^n$. Если зависимость $\lg \Delta p_M \sim f(\lg V_M)$ близка к линейной, то значение показателя степени «n» будет таким же и на натурном объекте. Тогда коэффициент сопротивления при расчете перепада давления натурального объекта « ζ_n » будет равен:

$$\zeta_n = \frac{\zeta'_M}{V_M^{2-n}} \quad (1),$$

где ζ'_M — размерный «коэффициент сопротивления», полученный на модели, исходя из зависимости:

$$\Delta p_M = \zeta'_M \frac{\rho V_M^n}{2} \quad (2).$$

Изложенная методика применена при определении коэффициента сопротивления натурального реактора для двухпетлевой компоновки по проливам его гидромодели на кафедре теплофизики ИАТЭ. При этом расходы на гидромодели измерялись способом, изложенным авторами в предыдущих докладах [1], [2].

Приводится график экспериментальной связи $\lg \Delta p_M \sim f(\lg V_M)$, найденные значения показателя степени «n», размерного «коэффициента сопротивления» ζ'_M и рекомендованное значение безразмерного коэффициента сопротивления ζ_n для расчета перепада давления натурального реактора.

Литература

1. Карташов К.В., Авдеев Е.Ф. Экспериментальная верификация и экономический эффект нового способа определения расхода при турбулентном течении в трубах по максимальной скорости. Материалы Международной конференции «Полярное сияние 2006», г. Санкт-Петербург, январь – февраль 2006 г.
2. Карташов К.В., Авдеев Е.Ф. Верификация способа определения расхода при турбулентном течении в трубах по измеренной максимальной скорости. Материалы Четвертой Российской национальной конференции по теплообмену, г. Москва, 23-27 октября 2006 г.

**ГАЗООХЛАЖДАЕМЫЙ РЕАКТОР УЧЕБНО -
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МНОГОЦЕЛЕВОЙ (ГРУМ) — БАЗА
ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ
АТОМНО-ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Васяев А.В., Кузнецов Л.Е., Кодочигов Г.Н., Холзаков А.С.
ФГУП ФНПЦ «ОКБМ им. И.И. Африкантова»

В мире постоянно растет напряженность на рынке энергетических ресурсов. Ядерные реакторы могут решить множество важных для человечества проблем: эффективно получать электричество и тепло, сохраняя невозобновляемые источники энергии для будущих поколений, опреснять воду, производить водород из воды, резко сократить вредные выбросы от сжигания органического топлива.

Эффективное промышленное производство водорода могут обеспечить высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы (ВТГР) с температурой на выходе до 1000°C. В мире накоплен большой теоретический и практический опыт в области ВТГР. Сегодня, на базе новейших технологий, необходим качественный рывок в создании промышленных ВТГР нового поколения.

В апреле 2004 г. в Японии, на реакторе HTTR достигнута выходная температура теплоносителя 950°C, что обуславливает применение высокопотенциального тепла ВТГР для множества технологических процессов, в том числе — эффективного производства электричества и водорода. В США аналогичный проект HT³R уже запущен — такой реактор предполагают строить в Техасском университете.

Настоящему и будущему поколениям ученых и инженеров просто необходим такой реактор уже сейчас. Поэтому, возникла идея построить учебный реактор, работающий при высокой температуре, рядом с которым были бы установки для производства водорода.

Технической основой учебно-исследовательского комплекса подготовки специалистов для атомно-водородной энергетики является разработка высокотемпературного газоохлаждаемого реактора, системы производства электроэнергии на основе прямого замкнутого газотурбинного цикла и системы транспорта высокопотенциального тепла от реактора к производству водорода или другим технологическим процессам.

Выбор типа реактора определяется его уникальными свойствами безопасности:

- химически инертный к материалам гелий не влияет на нейтронный баланс реактора при изменении температуры или потере теплоносителя;
- материалом активной зоны и отражателей является графит, с температурой сублимации более 3000°C, что обуславливает не расплавление активной зоны в любой аварийной ситуации, так как конструктивно исключено превышение температуры 1600°C;
- топливо из сферических микрочастиц с многослойными термо- и радиационно-стойкими покрытиями надежно удерживает продукты деления до уровня температур 1600°C;
- высокая теплоемкость активной зоны способствует медленному изменению параметров реактора в аварийных условиях;
- отрицательные обратные связи обеспечивают безопасное самоглушение реактора при аварийном разогреве активной зоны в случае отказа активных систем останова;
- конструкция топлива, активной зоны, применяемые неметаллические материалы и параметры установки обеспечивают аварийное расхолаживание активной зоны при любых аварийных ситуациях за счет только естественных процессов (конвекция, излучение, теплопроводность) без вмешательства персонала.

Миссия ГРУМ:

- обучение студентов в области атомно-водородной энергетики, подготовка и переподготовка специалистов;
- исследование новых процессов и аппаратов для производства водорода;
- исследование перспективных способов производства электроэнергии, в т.ч. замкнутого газотурбинного цикла;
- исследование режимов эффективной эксплуатации ВТГР;
- исследование в области перспективного топлива и топливных циклов (U–Pu, U–Th и др.);
- испытания и исследования новых материалов, компонентов и систем;

- исследования по безопасности;
- исследования по применению высокотемпературного тепла;
- исследования по выжиганию радиоактивных отходов в реакторе.

Представлен опыт разработки ВТГР, приведены основные характеристики и этапы решения основных задач учебно-исследовательского реактора.

ПОГЛОЩЕНИЕ НИТРАТОВ УРАНИЛА, ТОРИЯ, ЛАНТАНА И ИТРИЯ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ НОСИТЕЛЕЙ И ЭКСТРАГЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ

Комарова Т.В., Будякова Е.Ю.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)*

Исследовано поглощение нитратов уранила(VI), тория(IV), лантана(III) и иттрия(III) КМ на основе полимерного носителя и триалкиламина (аламин-336), а также совместная экстракция нитратов РЗМ(III) и уранила(VI) (тория(IV)) и нитратов уранила(VI) тория(IV) КМ. Изотермы экстракции описаны с учетом образования соединений состава $(R_3NH)_3[Ln(NO_3)_6]$, $(R_3NH)_2[UO_2(NO_3)_5]$, $(R_3NH)_2[Th(NO_3)_5]$ в фазе КМ материала, определены значения констант экстракции. Определены оптимальные условия разделения U/РЗМ и Th/РЗМ с использованием КМ в динамическом режиме.

Изучена кинетика поглощения нитратов уранила(VI), тория(IV), лантана(III) и иттрия(III) КМ на основе полимерного носителя и триалкиламина для растворов, содержащих различные количества нитрата натрия. Установлено, что поглощение уранила, тория, лантана и иттрия при температурах 293,15 К, 303,15 К и 333,15 К протекает во внешнедиффузионной области. По уравнению, подобному уравнению Аррениуса, рассчитана кажущаяся активации поглощения уранила, тория, лантана и иттрия данным КМ.

Изучена совместная экстракция нитратов уранила(VI) и тория(IV) (КМ) на основе полимерного носителя и три-изобутилфосфинсульфида. Процесс экстракции описан с учетом образования форм $[UO_2(NO_3)_2(ТиБФС)_2]$, $[Th(NO_3)_4(ТиБФС)_3]$ в фазе КМ, определены значения

констант экстракции. Определены оптимальные условия разделения U/Th использованием КМ в динамическом режиме.

Изучена кинетика поглощения нитратов уранила(VI) и тория(IV) КМ на основе полимерного носителя и три-изобутилфосфинсульфида для растворов, содержащих различные количества нитрата натрия или нитрата лантана(III). Установлено, что поглощение уранила и тория при температурах 293,15 К, 303,15 К и 333,15 К протекает во внешнедиффузионной области. По уравнению, подобному уравнению Аррениуса, рассчитана кажущаяся активации поглощения уранила и тория.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО КАНАЛА

Лазаренко Д.Г.

*Обнинский государственный технический университет
атомной энергетики*

Развитие программы космических исследований, возможности и качество ее реализации зависят от масштабов энергоснабжения бортовой аппаратуры космических аппаратов. Появление нового комплекса космических задач ставит вопрос о создании энергетических установок большей мощности [1]. Разрабатываемые в настоящее время космические ядерные энергетические установки (КЯЭУ) с термоэмиссионным преобразованием энергии способны перекрыть весь необходимый мощностной диапазон с приемлемыми эксплуатационными показателями. До настоящего времени только термоэлектрические и термоэмиссионные преобразователи (ТЭП) тепловой энергии в электрическую были и остаются единственными, прошедшими не только все стадии НИОКР, но и получившими реальный опыт использования в составе КЯЭУ [2-5].

Применение высокоэффективных низкотемпературных пар электродных материалов совместно с динамической подачей паров цезия в межэлектродный зазор привело к росту электродного к.п.д. ТЭП с 7% («ТОПАЗ») до уровня 25% [6], что позволяет рассматривать возможность не только космического, но и наземного применения ТЭП. Так, в ГНЦ РФ-ФЭИ, разработана концепция автономной атомной теплоэлектростанции малой мощности (2 МВт эл.) с термоэмиссионным

преобразованием тепловой энергии в электрическую, отличающейся малым объемом капитального строительства, высокой внутренней безопасностью и надежностью, высокой степенью заводской готовности и простотой в эксплуатации [7,8].

Основным элементом реактора термоэмиссионной ЯЭУ является электрогенерирующий канал (ЭГК), который, как правило, конструктивно представляет собой цилиндрическую сборку последовательно соединенных однотипных электрогенерирующих элементов (ЭГЭ), заключенных в общий корпус. В свою очередь, каждый ЭГЭ состоит из собственно ТЭП, топливного сердечника и коммутационной переключки, соединяющей его с соседним ЭГЭ. ТЭП состоит из двух тонких коаксиально расположенных цилиндрических электродов, разделенных межэлектродным зазором (МЭЗ), который в рабочем состоянии заполнен парами цезия при давлении несколько мм рт.ст. Внутренний электрод (эмиттер) разогрет до высокой температуры (1300-1800 К) тепловыделением топливного сердечника. Тепло с эмиттера посредством теплового излучения, теплопроводности через пары цезия, а также за счет переноса электронов термоэмиссии (электронного охлаждения) передается с эмиттера на внешний электрод – коллектор (температура 700-900 К), с которого через слой электроизоляции и металлический корпус снимается теплоносителем.

Обычно тепловой и электрический расчет ЭГК проводится с целью получения таких его характеристик, как изомощностная вольтамперная характеристика при заданной тепловой мощности и давлении паров цезия, а также зависимости его электрической мощности и к.п.д. от тока или напряжения [9].

Цель работы — создание адекватной математической модели для расчета теплоэлектрофизических характеристик электрогенерирующих каналов цилиндрической геометрии термоэмиссионных реакторов-преобразователей. Анализ используемых в настоящее время методик расчета характеристик ЭГК показал их ограниченную применимость, так как в заложенной в них математической модели рассматривается только термоэмиссионная электродная пара при недостаточно корректных допущениях о температурном поле коллектора.

Такие методики не позволяют выполнять расчет температурных полей в конструктивных элементах ЭГЭ (кроме эмиттера). Предлагаемая в работе математическая модель ЭГЭ, включает уравнения теплопроводности для всех конструктивных элементов ЭГЭ/ЭГК и может быть использована для расчета полей температур в конструктивных элементах ЭГК и потенциалов на электродах. Кроме того, предложенная

методика позволяет проводить вариантыные расчеты, в том числе для оптимизации выходных электрических характеристик ЭГК.

Выполнен ряд тестовых расчетов теплоэлектрофизических характеристик ЭГЭ/ЭГК сложной геометрии с использованием предложенной модели. Полученные результаты хорошо согласуются с данными, полученными по другим методикам (в пределах принятых в них ограничений) и с экспериментальными данными.

Литература

1. Коротеев А.С. Анализ перспективных космических задач и место ядерных энергодвигательных установок в их решении / Международная конференция «Ядерная энергетика в космосе-2005» (Москва-Подольск, 2005): Сб. докл. – Т.1., –с.1-7.
2. Грязнов Г.М., Пупко В.Я. «Топаз-1». Советская космическая ядерно-энергетическая установка // Природа. –1991. – Вып.10. –с.29-36.
3. Ponomarev-Stepnoi N.N., Talyzin V.M., Usov V.A. Russian Space Nuclear Power and Nuclear Thermal Propulsion Systems // Nuclear News. –2000. – p.33-46.
4. Truscello V.C. SP-100 Power System / Отраслевая юбилейная конференция «Ядерная энергетика в космосе» (Обнинск, 1990): Сб. докл. – Ч.2., – с.497-512.
5. Зродников А.В., Забудько А.Н., Дубинин А.А. и др. Взгляд на космическую ядерную энергетику: 50 лет назад, 50 лет вперед / Международная конференция МАГАТЭ «Атомной энергетике – 50 лет» (Обнинск, 2004): Тез. докл. - С.221-222.
6. Ярыгин В.И. Термоэлектричество и термоэмиссия в космических ядерных энергетических установках прямого преобразования. Современное состояние и перспективы / Международная конференция «Ядерная энергетика в космосе-2005» (Москва-Подольск, 2005): Сб. докл. – Т.1., с. 27-45.
7. Кротов А.Д., Кузнецов Р.В., Лазаренко Д.Г. и др. Концептуальный проект атомной теплоэлектростанции малой мощности с прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую / Каталог тезисов проектов научно-технических коллективов молодых ученых, аспирантов и студентов, представленных на всероссийский

- конкурсный отбор по приоритетным направлениям науки и высоких технологий. – М.: изд-во РГУИТП, 2006. – с.77-79.
8. Лазаренко Г.Э., Ярыгин В.И., Пышко А.П., Овчаренко М.К., Михеев А.С., Линник В.А., Кротов А. Д., Лазаренко Д. Г., Сонько А.В. Автономная ядерная энергетическая установка электро- и теплоснабжения прямого преобразования тепловой энергии в электричество / Международная научно-практическая конференция «Малая энергетика - 2006» (Москва 2006): Тез. докл. – с. 68-70.
 9. Ружников В.А. Методы расчета тепловых и электрических характеристик систем прямого преобразования энергии. Часть 1. Термоэмиссионный электрогенерирующий канал ЭГК. – Обнинск: ФЭИ, 2001. с. 25.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕЖИГАНИЯ МИНОРНЫХ АКТИНИДОВ В ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКЕ С ТВЕРДЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Легенький А.А.

Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности

В данный момент основными требованиями, предъявляемыми к атомным установкам, являются безопасность и экономичность. Наличие нескольких степеней защиты, внутренних свойств безопасности, низкая себестоимость электроэнергии и обеспечение нераспространения являются критериями оценки конкурентоспособности ядерной энергетической установки. По этой причине большими возможностями для развития обладают проекты высокотемпературных реакторов. Важная их особенность заключается в возможности достижения высокой (не ниже 750°C) температуры теплоносителя на выходе из активной зоны, что позволяет иметь высокий КПД установки.

В ядерной энергетике все более актуальной становится также проблема пережигания минорных актинидов. В долгосрочной перспективе минорные актиниды будут определять радиационный фон РАО. Поэтому предлагается отделять минорные актиниды от остальной массы РАО для последующей их утилизации в ядерных установках.

Проведено исследование возможности трансмутации Np, Am, Cm в высокотемпературной ядерной установке с твердым теплоносителем. В отличие от других проектов высокотемпературных реакторов, в которых рассматривается газовый теплоноситель, в ВРТТ

используется твердый теплоноситель, представляющий собой частицы из графита с пироуглеродным покрытием со средним диаметром 1 мм.

Проведен обзор литературы, связанной с возможностями различных ядерных установок по выжиганию минорных актинидов. Изучена модель высокотемпературного реактора с твердым теплоносителем. Рассмотрен вариант активной зоны на основе оружейного плутония. Состав минорных актинидов взят из выгружаемого отработанного MOX-топлива реактора типа PWR. Изучено влияние величины радиуса ядра микротвэлов, загрузки микротвэлов в компакт, шага решетки твэлов и загрузки минорных актинидов на размножающие свойства ячейки и длительность кампании топлива. Выбран оптимальный энергетический спектр для сжигания минорных актинидов с помощью варьирования некоторых перечисленных выше параметров. Произведено сравнение варианта на основе плутония с аналогичными вариантами, где источником нейтронов для трансмутации служили изотопы урана. Оценена эффективность трансмутации и длительность кампании в данном реакторе.

Максимальная загрузка минорных актинидов достигнута в варианте с ^{233}U и составила 65%. Но для его осуществления требуется наработка данного изотопа-источника, для чего необходимо вовлекать торий в топливный цикл.

Более реальным и необходимым на данный момент является вариант на основе оружейного плутония. В нем достигается достаточно высокая эффективность трансмутации, которая позволяет одновременно обслуживать 7-10 реакторов типа ВВЭР-1000. К числу плюсов относится возможность утилизации оружейного плутония, что также является актуальным вопросом ядерной энергетики уже в настоящее время.

Литература

1. Адамов Е.О., Ганев И.Х., Лопаткин А.В. и др. Трансмутационный топливный цикл в крупномасштабной ядерной энергетике России. Монография, НИКИЭТ, 1999.
2. Ганев И.Х., Лопаткин А.В., Орлов В.В. Гомогенная трансмутация Am, Cm, Np в активной зоне реактора типа БРЕСТ. – Атомная энергия, 2000, т.89, вып. 5, с. 355-361.
3. Синцов А.Е., Апсэ В.А., Шмелев А.Н. Некоторые особенности сжигания кюриевой фракции младших актинидов в нейтронном поле.- Ядерная энергетика, 2004, № 1, с. 98-106.
4. Черников А.С. Топливо и твэлы ВТГР. – Атомная энергия, 1988, т. 65, вып.1, с.32-38.

5. JEF-PC - A personal computer program for displaying nuclear data from the Joint Evaluated File library. User manual version 2.0. - NEA/OECD, 1997.
6. Бергельсон Б.Р., Герасимов А.С., Зарицкая Т.С., Киселев Г.В., Мырцимова Л.А. Радиотоксичность и остаточное энерговыделение актиноидов и продуктов деления отработавшего ядерного топлива ВВЭР при длительном хранении. – Атомная энергия, 2000, т.89, вып.3, с. 215-220.
7. Benedict M., Pigford T.H., Levi H.W. Nuclear Chemical Engineering. Second Edition. - McGraw Hill 1981.-P. 369-370.
8. Герасимов А.С., Зарицкая Т.С., Киселев Г.В., Мырцимова Л.А. Условия трансмутации плутония, америция, кюрия в ядерных установках.– Атомная энергия, 2000, т.89, вып. 2, с.150-155.
9. Ганев И.Х., Лопаткин А.В., Орлов В.В. Гетерогенная трансмутация Am, Cm, Np в активной зоне реактора типа БРЕСТ. - Атомная энергия, 2000, т.89, вып. 5, с. 362-365.
10. Карпов В.А. Топливные циклы и физические особенности высокотемпературных реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1985. – (Физика ядерных реакторов; Вып. 27).
11. Денискин В.П., Дмитриев А.М., Наливаев В.И., Федик И.И. (НИИ НПО «Луч»), Ермаков Н.И., Мусаэлян Р.Н. (ООО «Независимый координационно-экспертный совет») Некоторые результаты исследования и перспективы развития высокотемпературного энергетического реактора с твердым теплоносителем.- Атомная энергия, ноябрь 2005, т.99, вып. 5, с. 358-365.

СИНТЕЗ ПОЛИМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ ПУТЕМ РАДИАЦИОННОЙ ПРИВИВОЧНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ИОНОГЕННЫХ МОНОМЕРОВ НА ГРАНУЛИРОВАННУЮ ПОЛИОЛЕФИНОВУЮ МАТРИЦУ

Ильичева Н.С., Китаева Н.К., Максимова И.Г., Дуфлот В.Р.

*Обнинский государственный технический университет
атомной энергетики*

Радиационная прививочная полимеризация является одним из методов получения новых полимерных материалов путем

модифицирования достаточно хорошо известных промышленных полимеров (полиолефинов, фторсодержащих полимеров, полиамидов, поливинилхлорида и др.). Радиационная прививочная полимеризация основана на генерировании активных центров радикальной и ионной природы в различных полимерах под действием ионизирующего излучения с последующей прививочной полимеризацией разнообразных мономеров (акрилаты, винилпиридины, акриламид, N-изопропилакриламид, N-винилпирролидон и др.).

Преимуществами радиационной прививочной полимеризации являются: высокая универсальность метода в том плане, что модифицировать можно полимеры практически любой природы, размера и формы (пленки, волокна, порошки и т.д.); возможность модифицирования в ряде случаев на любую заданную глубину путем изменения энергии излучения; модифицирование можно проводить в широком диапазоне температур, включая низкие температуры, недоступных в случаях использования вещественных инициаторов [1-5].

Радиационная прививочная полимеризация широко используется для получения различных сорбентов. В последние годы проведены значительные работы по применению радиационной прививочной полимеризации для получения сорбентов с целью извлечения небольших количеств ионов металлов из водных растворов [2,3,6,7]. В качестве основного полимера используются дешевые и достаточно хорошо освоенные промышленностью полиолефиновые порошки или волокна. Для получения сорбентов полиолефины модифицируются путем радиационной прививочной полимеризацией ионногенными мономерами.

Цель работы — изучение особенностей процесса прививочной полимеризации акриловой кислоты на предварительно γ -облученные порошки полиэтилена и определение оптимальных параметров радиационно-химического модифицирования с целью создания ионнообменных сорбентов.

Прививочная полимеризация осуществлялась методом предварительного гамма-облучения ^{60}Co на воздухе из водных растворов акриловой кислоты. Доза облучения изменялась от 50 до 150 кГр.

В процессе работы было исследовано:

- влияние размера частиц порошка полиэтилена в интервале от 0,05 до 2 мм на изменение доли гель-фракции при γ -облучении;
- влияние дозы облучения на изменение доли гель-фракции при γ -облучении;

- влияние размера частиц порошка полиэтилена на предельную степень прививки;
- влияние размера частиц порошка полиэтилена на статическую обменную емкость сорбента.

При изучении порошков полиэтилена γ -облученных дозой 150 кГр установлено, что для образцов с размером частиц 0,05 мм и менее доля гель-фракции составляет около 0,5%, а для частиц с размером 1-2 мм - 99,6%. Также получено, что для порошка полиэтилена с размером частиц 0,25-0,5 мм с увеличением дозы γ -облучения от 50 до 150 кГр доза гель-фракции изменяется от ~50 до 65%. После γ -облучения размер частиц не меняется, а удельное содержание пероксидных групп практически не зависит от среднего диаметра исходного порошка.

Исследование прививочной полимеризации акриловой кислоты из ее водных растворов на порошки полиэтилена, γ -облученных дозой 150 кГр, показало, что предельная степень прививки полиакриловой кислоты меняется от 50% для частиц 1-2 мм до 25% для частиц менее 0,05 мм. В результате модифицирования изменяется диаметр частиц: для исходных частиц диаметром менее 0,05 мм – в 2раза, для исходных частиц с диаметром 1-2 мм – на 15-20%. Статическая обменная емкость по иону натрия составляла от 2-5 ммоль/г в зависимости от степени прививки полиакриловой кислоты.

Полученные сорбенты с карбоксильными группами могут быть использованы для извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов.

Литература

1. Цетлин Б.Л., Власов А.В., Бабкин И.Ю. Радиационная химия полимеров. М.: Наука, 1973. с. 108.
2. Кабанов В.Я. // Высокомолек. соед. Б. 1995. Т. 37. № 6. с. 1107.
3. Кабанов В.Я. // Успехи химии. 1998. Т. 67. № 9. с. 861.
4. Кабанов В.Я. // Химия высоких энергий. 2000. Т. 34. № 4. с. 243.
5. Павлов С.А., Телешов Э.Н. // Высокомолек. соед. А. 1991. Т. 33. № 2. с. 1326.
6. Kabanov V.Ya. // Radiat. Phys. Chem. 1989. V. 33. № 1. p. 51.
7. Kabanov V.Ya., Aliev R.E., Kudryavtsev Val.N. // Radiat. Phys. Chem. 1991. V. 37. № 2. p. 175.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИНТЕГРАЛЬНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ
ТОНКОСТЕННЫХ ЯЧЕИСТЫХ КОНСТРУКЦИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭФФЕКТА СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ**

Малиновский Д.Г.
РФЯЦ-ВНИИТФ

В результате проведенных РФЯЦ – ВНИИТФ совместно с ИПСМ РАН (Институт проблем сверхпластичности металлов, г. Уфа) работ выполнены исследования возможности изготовления многослойных цилиндрических оболочек и сложнопрофильных ячеистых панелей с использованием интегральной технологии сверхпластической формовки в сочетании с диффузионной сваркой. Эти работы показали перспективность технологии, поскольку она обеспечивает гибкость проектирования и изготовления сложных конструкций с экономией по массе до 30% при снижении стоимости изготовления приблизительно на 50% по сравнению с традиционными методами. Основные преимущества использования сверхпластичности в технологии получения изделий связаны с резким увеличением ресурса пластичности материалов и с возможностью резкого снижения усилий при деформации. При этом снижаются мощность деформирующего оборудования, нагрузка на инструмент, его износ.

Технология газовой формовки в условиях сверхпластичности позволяет изготавливать элементы аэробаллистических корпусов летательных аппаратов, ячеистых теплообменников и другие сложнопрофильные многослойные конструкции [1, 2].

Для успешного внедрения в производство и для реализации такой возможности технологии как гибкость проектирования разработан интегральный метод проектирования – процесс создания тонкостенных ячеистых конструкций, основанный на технологии газовой формовки в условиях сверхпластичности в сочетании с диффузионной сваркой, включающий в себя все этапы от идеи до изготовления конструкции. Интегральный метод проектирования с использованием программных комплексов трехмерного моделирования и прочностного расчета позволяет проектировать принципиально новые сложнопрофильные многослойные ячеистые конструкции, обладающие повышенными прочностными свойствами, перейти от технологии сборки конструкций из множества отдельных деталей к изготовлению единой интегрированной детали, уменьшить количество необходимого для изготовления инструмента и оснастки.

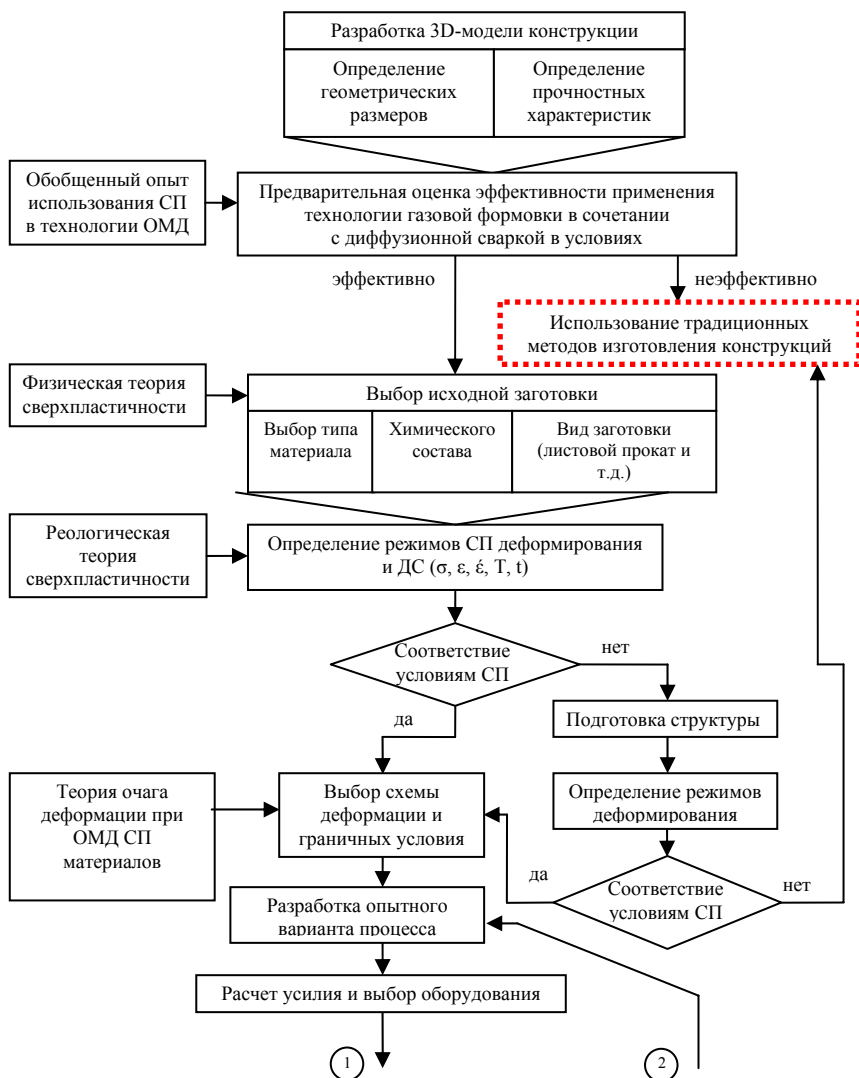


Рисунок. Схема алгоритма разработки конструкции с использованием интегрального метода проектирования.

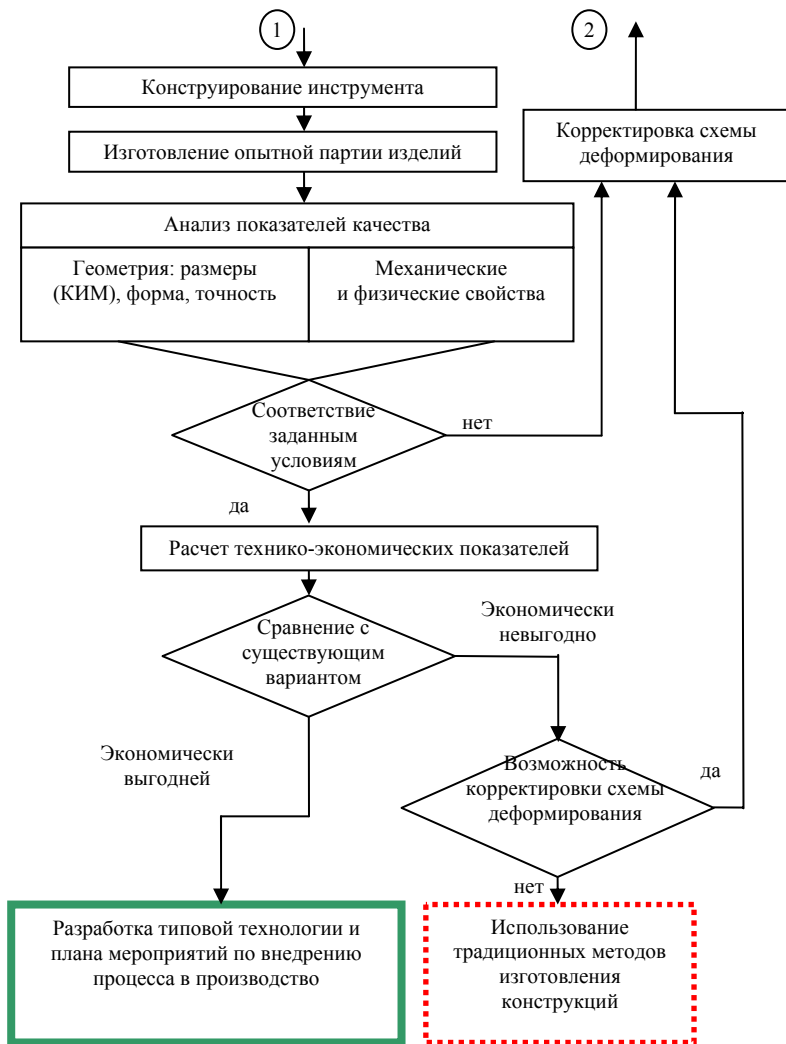


Рисунок (продолжение). Схема алгоритма разработки конструкции с использованием интегрального метода проектирования.

Разработка и успешное опробование технологических процессов газовой формовки полых изделий из листа сверхпластичного титанового сплава ВТ6С и ВТ14 позволили составить рекомендации по проектированию ячеистых конструкций в состоянии сверхпластичности, конструированию оснастки и выбору параметров формовки.

На рисунке 1 представлен алгоритм применения интегрального метода проектирования при разработке тонкостенных ячеистых конструкций, созданию типового технологического процесса обработки металлов давлением в состоянии сверхпластичности и мероприятий по внедрению процесса в производство.

Алгоритм включает максимально возможный объем работы. Некоторые из этапов в конкретных случаях могут отпасть, так как в распоряжении разработчика технологии будут иметься необходимые исходные данные. Другие задачи, наоборот, пока невыполнимы в должном объеме из-за недостатка знаний и опыта, поэтому их решают обычно методом проб и ошибок. Однако в целом представленный на этой схеме алгоритм создания тонкостенных ячеистых конструкций отвечает сегодняшнему состоянию проблемы и поставленной задаче.

Для успешной реализации этого алгоритма в широких промышленных масштабах необходимо продолжать разработку фундаментальных проблем, систематически обобщать и изучать отечественный и зарубежный опыт промышленного использования состояния сверхпластичности в процессах обработки металлов и, наконец, опираясь на успехи теоретических исследований и практические достижения, решать принципиальные вопросы технологии, среди которых наиболее актуальное значение имеют следующие:

- разработка принципов применения различных промышленных материалов в условиях сверхпластичности;
- дальнейшее совершенствование принципов управления течением сверхпластичного материала в очаге деформации для получения заданного уровня свойств и других показателей качества продукции;
- разработка методики поддержания и контроля оптимальных температурно-скоростных режимов деформации, энергосиловых параметров процесса;
- разработка алгоритма выбора необходимого технологического оборудования, соответствующих наивысшим уровням эффективности производства и качества продукции;

- разработка алгоритма расчета и проектирования инструмента, включающей выбор материала инструмента, проектирование систем нагрева рабочей зоны для обеспечения заданного температурного режима деформирования, конструирование формы инструмента;
- совершенствование алгоритмов анализа технико-экономической эффективности новой технологии.

Реализация алгоритма в процессе проектирования и изготовления сложнопрофильных тонкостенных ячеистых конструкций позволит:

- проектировать и изготавливать принципиально новые сложнопрофильные ячеистые конструкции, обладающие повышенными прочностными свойствами;
- автоматизировать процесс проектирования и изготовления инструмента (штамповочных матриц);
- повысить качество проектирования и при этом минимизировать количество ошибок.

Литература

1. Сборник докладов конференции студентов ВУЗов Урала «Молодежь и будущее атомной промышленности России» Доклад «Применение технологии сверхпластической формовки и диффузионной сварки для изготовления сложнопрофильных многослойных конструкций». – Снежинск.: СГФТА.
2. Сборник докладов конференции Полярное сияние 2006. Доклад «Технология сверхпластической формовки и диффузионной сварки для изготовления ячеистых теплообменников и их диагностика».

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

Малоземова Е.П.

Саровский государственный физико-технический институт

Назревающий в мире энергетический кризис, обусловленный, прежде всего ограниченными ресурсами органического топлива, обуславливает поиск новых источников энергии. Имеется много проектов по использованию энергии ветра, солнца, приливов, ядерной энергии,

наряду с которыми в качестве весьма перспективного и безопасного способа рассматривается и управляемый термоядерный синтез (УТС).

Целью работы являются:

- краткий обзор существующих путей решения проблемы управляемого термоядерного синтеза (УТС);
- обзорный анализ по открытым публикациям основных результатов, полученных в РФЯЦ-ВНИИЭФ по направлению газодинамического термоядерного синтеза (ГДТС).

Сегодня существует два основных направления исследований по проблеме УТС. Во-первых, реализация УТС при достаточно длительном удержании высокотемпературной плазмы в магнитном поле. Во-вторых, инерциальный синтез. Одним из основных достижений в первом направлении стал «Токамак» — замкнутая магнитная ловушка, имеющая форму тора, предназначенная для создания и удержания высокотемпературной плазмы.

Для осуществления инерциального удержания плазмы мишень с термоядерным топливом сжимают до таких высоких плотностей, что реакция успевает осуществиться до того, как произойдет ее испарение. Нагрев до нужных температур происходит при всестороннем сжатии мишени, например, лазерными импульсами или пучками тяжелых ионов.

Газодинамический термоядерный синтез является одним из способов осуществления инерциального синтеза. Его суть состоит в том, что для получения необходимой степени сжатия топливной мишени используется энергия направленного внутрь взрыва сферического заряда ВВ (имплозия). Мысль об использовании имплозии для возбуждения термоядерных реакций синтеза впервые была высказана советским физиком Козыревым А.С. в 1947 году [1], а в 1951 году были начаты работы по проблеме ГДТС. При проведении экспериментов с центрально-симметричной слоистой системой в РФЯЦ-ВНИИЭФ в конце 60-х — начале 70-х годов были выявлены основные факторы [2], ухудшающие выходные параметры исследуемой системы. Для снижения негативного влияния указанных факторов разработан прецизионный шаровой заряд [3]. Были проведены эксперименты по определению энергии, доставляемой в центр мишени, а также исследованию влияния асимметрии и турбулентного перемешивания.

Турбулентное перемешивание, возникающее в ГДТС из-за развития гравитационных неустойчивостей, приводит к снижению максимальной температуры и плотности топлива. Для исследования

неустойчивостей в лабораторных условиях была разработана методика на основе экспериментов с ударной трубой (Мешков Е.Е.), методика исследования неустойчивости границы двух газов при ее ускорении в ударных трубах, использующих в качестве источника импульсной нагрузки продукты детонации ацетилена с кислородом (Мешков, 1995; Власов и др., 1996) [4].

Из краткого обзора существующих по проблеме УТС предложений следует, что все они пока не дают ее полного решения. Вместе с этим, следует отметить, что среди способов инерциального синтеза у ГДТС есть важное преимущество, которое заключается в том, что это более выгодный с финансовой и технической стороны способ получения энергии. А результаты исследований и разработок, полученные в РФЯЦ-ВНИИЭФ по данной проблеме, дают основания надеяться на серьезные перспективы ГДТС. Кроме того, нельзя не сказать о том, что работа над проблемой ГДТС, начиная с первых идей и заканчивая конкретными результатами, имеет почти полувековую историю и является следствием сотрудничества большого количества ученых, как теоретиков, так и экспериментаторов.

Литература

1. Козырев А.С. Газодинамический термоядерный синтез. Саров, 2005.
2. Козырев А.С., Анисимов А.Н., Данов В.М., Мхитарьян Л.С. Газодинамический термоядерный синтез // Высокие плотности энергии. Саров, 1997. с. 485-494.
3. Александров В.А., Анисимов А.Н., Аринин А.Н. и др. Возбуждение термоядерной реакции в фокусе прецизионного сферического заряда взрывчатого вещества // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Матем. моделирование физических процессов. Вып. 4. 1992. с. 92.
4. Мешков Е.Е. Исследования гидродинамических неустойчивостей в лабораторных экспериментах. Саров, 2006.

СОЗДАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ГАФНИЯ В РОССИИ

Москаленко О.П., Копарулин И.Г., Штуца М.Г., Бутя Е.Л.

ОАО «Чепецкий механический завод»

Гафний считается стратегическим материалом и сведения о масштабах и структуре его современного потребления ограничены. Основным источником гафния является циркон, в котором содержится 1-2% данного элемента. Вследствие совместного нахождения в природе и близости свойств, многие вопросы, связанные с производством и потреблением гафния, рассматривают в сопоставлении или с привязкой к цирконю.

Большой интерес к цирконю и гафнию возник в связи с использованием их в ядерной энергетике. Когда у этих элементов было обнаружено принципиальное различие в величине эффективного поперечного сечения захвата тепловых нейтронов, то выяснилось, что уникальные по сочетанию механические и коррозионные свойства циркония, как конструкционного материала для атомной энергетике, могут быть использованы лишь после очистки его от гафния. От большинства элементов, сильно поглощающих нейтроны (например бора и гадолия), гафний отличается тем, что после длительного облучения поперечное сечение поглощения его уменьшается незначительно, так как образуются новые изотопы с большим поперечным сечением поглощения.

Для обеспечения цирконием отечественных АЭС, до настоящего времени используется перекристаллизационная технология, основанная на различной растворимости фторцирконатов и фторгафнатов калия в воде.

Уже несколько лет внедрена технология разделения циркония и гафния азотнокислой экстракцией, позволяющая получать из отходов перекристаллизационной технологии цирконий, удовлетворяющий повышенным мировым требованиям.

В настоящее время внедряется усовершенствование экстракционной схемы, которое позволит дополнительно получать гафниевый продукт (содержанием гафния более 95% от суммы гафния и циркония). С учетом возможности экстракционной переработки накопленных за предыдущие годы отвалов, содержащих цирконий и гафний, это открывает реальные перспективы производства гафния в России.

СОЗДАНИЕ НАБОРА ФАЙЛОВ НЕЙТРОННЫХ И ПРОТОННЫХ АКТИВАЦИОННЫХ ДАННЫХ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ ОТ 150 МЭВ ДО 1 ГЭВ

Конобеев А.Ю., Коровин Ю.А., Наталенко А.А.,
Пильнов Г.Б., Станковский А.Ю.

*Обнинский государственный технический университет
атомной энергетики*

Научно-исследовательской лабораторией «Пуск» создан набор файлов нейтронных активационных данных для 684 нуклидов от ^1H до ^{210}Po в энергетическом диапазоне от 150 МэВ до 1 ГэВ.

Потребность в оцененных активационных данных в энергетическом диапазоне свыше 150 МэВ вызвана исследованиями активации конструкционных материалов при их длительном облучении в электро- и термоядерных установках с жестким нейтронным и протонным спектром и трансмутации отходов ядерного топливного цикла в вышеупомянутых установках. Исследования в области ядерной астрофизики и фундаментальные исследования по взаимодействию высокоэнергетических частиц с веществом существенно расширяют потребности в активационных ядерных данных в области высоких энергий [1].

Для расчета нейтронных и протонных активационных данных выбраны программы CASCADE/INPE [2] и MCNPX [3], для расчета протонных данных дополнительно использовалась программа YILDEX [4]. В программу MCNPX 2.5.0 включен ряд физических моделей описывающих различные стадии протекания ядерной реакции, частично возможны комбинации этих моделей. Таким образом, расчет производился по восьми различным моделям для нейтронных активационных данных и девяти – для протонных.

Выбор оптимальных моделей расчета осуществлялся на основе минимизации факторов согласия рассчитанных данных с экспериментальными протонными данными, взятыми из международной библиотеки экспериментальных ядерных данных EXFOR и последних работ ИТЭФ, выполненных в рамках проекта МНТЦ 2002.

Проанализированы более 4000 экспериментальных точек, для более, чем 1000 реакций на различных ядрах.

В качестве минимизируемого параметра использована линейная комбинация факторов согласия:

- F-фактор: $10 \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\lg \sigma_i^{\text{exp}} - \lg \sigma_i^{\text{calc}})^2}$,
где N-общее число значений, σ_i^{exp} — экспериментальное значение сечения, σ_i^{calc} — вычисленное значение сечения;

- H-фактор: $\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\sigma_i^{\text{exp}} - \sigma_i^{\text{calc}}}{\Delta \sigma_i^{\text{exp}}} \right)^2}$,
где $\Delta \sigma_i^{\text{exp}}$ — погрешность экспериментального значения сечения [5].

Весь диапазон экспериментальных точек разбивался на примерно равные поддиапазоны по массовому числу ядра-мишени. Каждый поддиапазон включил порядка 400 экспериментальных точек. Данная процедура позволила частично нивелировать отсутствие экспериментальных данных для ряда нуклидов.

Для каждого поддиапазона массовых чисел были отобраны наиболее подходящие модели для расчета, по которым и производилась оценка активационных данных.

Нейтронные активационные данные были рассчитаны с шагом 5 МэВ в энергетическом диапазоне от 150 МэВ до 250 МэВ, 25 и 50 МэВ в энергетических диапазонах от 250 МэВ до 600 МэВ и от 600 МэВ до 1 ГэВ соответственно. Все данные представлены в файлах, записанных в формате ENDF-6 (секции MF=3, MT=5 и MF=6, MT=5).

В настоящий момент создание протонных активационных файлов продолжается и ведется работа по отбору расчетных моделей.

Литература

1. Research and Development Needs for Current and Future Nuclear Energy Systems — NEA/OECD Report, 2003, 4453.
2. Barashenkov V.S., Konobeev A.Yu., Korovin Yu.A., Sosnin V.N. — Atomnaya Energiya, 1999, 87, 283.
3. Hendricks J.S. — MCNPX extensions version 2.5.0 — Los Alamos National Laboratory Report, 2005, LA-UR-05-2675.

4. Tsao C.H., Silberberg R., Barghouty A.F. — Updated partial cross sections of proton-nucleus reactions — *Ap. J.*, 1998, 501, 911.
5. Michel R., Nagel P. — International Codes and Model Intercomparison for Intermediate Energy Activation Yields — NEA/OECD Report, 1997, NSC/DOC(97)-1.

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ РАДИАЦИОННОГО СШИВАНИЯ НА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ТЕРМОУСАЖИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Плеханов Е.И.

*Обнинский государственный технический университет
атомной энергетики*

Сапельников А.А., Челнаков Н.П., Дуфлот В.Р.

Филиал ФГУП «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», г. Обнинск

Развитие атомной энергетики и ускорительной техники вызвало большой интерес к эффектам, наблюдаемым при воздействии излучений высокой энергии на материалы, в частности, полимеры. Полимерные материалы находят широкое применение в реакторостроении, космической технике и т.п., где они могут подвергаться воздействию ионизирующего излучения, под действием которого в значительной мере могут изменяться их физические и химические свойства.

В отличие от других твердых тел (например, ионных кристаллов), в которых при облучении обычно происходят радиационные повреждения, действие ионизирующего излучения на полимеры нередко приводит к улучшению их свойств. Общеизвестен этот положительный эффект в случае полиэтилена, который в результате облучения сшивается. Так же значительную роль в различных областях техники играет использование одного из наиболее важных и полезных пост-радиационных эффектов в полиэтилене – «эффекта памяти», на котором основано производство термоусаживаемых изделий. Основное применение термоусаживаемых изделий – электротехническая промышленность.

Цель исследования — определение оптимальных параметров технологии радиационно-химического модифицирования термоусаживаемых изделий с использованием полимеризационно-активных газовых смесей, а именно, определение оптимального состава

активной газовой смеси и изучение режимов предварительной обработки на термомеханические параметры термоусаживаемых изделий.

Исследовано влияние неоднородности радиационного сшивания на термомеханические свойства полимерных термоусаживаемых изделий, используемых в качестве электромеханических и электроизоляционных материалов.

Исследовано воздействие газовых смесей, а также одновременное и последовательное воздействие активных компонентов при проведении радиационно-химического модифицирования, на сшивание и термомеханические свойства полимеров.

Анализ результатов показал, что использование различных газовых смесей при радиационно-химическом модифицировании полимерных термоусаживаемых изделий позволяет целенаправленно управлять формированием профиля распределения концентрации шивок в объеме полимеров. Тем самым появляется возможность получать различные показатели термомеханических характеристик термоусаживаемых изделий (высокая способность к термическому раздуву при сохраненном усилии усадки или наоборот).

Использование активного компонента в газовых смесях при проведении радиационно-химического модифицирования снижает требуемую для получения термоусаживаемых свойств поглощенную дозу ионизирующего излучения, а, следовательно, стоимость проведения работ по модифицированию.

На основании полученных результатов выбран оптимальный режим проведения радиационно-химического модифицирования.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ МЕТОДОМ РАДИОЛЮМИНОГРАФИИ

Прыкина И.Г., Ривкис Л.А., Филин В.М., Гуцин В.В., Булкин В.И., Кравченко И.М., Семенов А.А.
ВНИИНМ им. А.А. Бочвара

Информация о содержании трития в конструкционных материалах, его распределение по их поверхности и в объеме необходимо для разработки, обращения и дезактивации оборудования при работе с тритием. Металлы, в частности нержавеющая сталь, являются конструкционными материалами, которые часто используют в таком оборудовании. Количеством трития, оставшегося в конструкционном материале, определяется скорость дегазации во время демонтажа

оборудования и то, к какой категории эти материалы будут отнесены при захоронении, как отходы. Этот вывод особенно важен для будущего дейтерий-тритиевого реактора ядерного синтеза, при работе с которым будет использоваться большое количество трития, что неминуемо приведет к образованию значительного количества загрязненных им металлов.

Представлены результаты исследований по изучению распределения трития в образцах нержавеющей стали, инконели, меди, бериллия и алюминиевой бронзы, экспонированных в водороде, содержащем тритий. Параметры экспозиции: концентрация трития от 1 ат.% до 98 ат.%, температура до 770 К, давление от $1 \cdot 10^{-4}$ МПа до 0,05 МПа. Концентрация трития на поверхности и распределение в металлах были измерены, с использованием метода радиолюминографии, основанного на регистрации фотостимулированной люминесценции IP-пластинами. Приведены профили трития по глубине в зависимости от природы металлов и условий их экспозиции в тритии.

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ «ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ» В БИНАРНЫХ И ТРОЙНЫХ СИСТЕМАХ, СОДЕРЖАЩИХ КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЛЬВАТЫ УРАНИЛА(VI), ТОРИЯ(IV) И ЛАНТАНОИДОВ(III) С ТРИ-Н-БУТИЛФОСФАТОМ

Решетко Я.А.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)*

Метод жидкостной экстракции наиболее широко используется для разделения нитратов уранила (VI), тория (IV) и редкоземельных металлов (III).

Ввиду ограничений по взаимной растворимости координационных сольватов нитратов РЗМ(III) и тория(IV) в неполярных растворителях, например в углеводородных (УР), в ряде систем возможно расслоение органической фазы на две (образование «третьей фазы»).

Изучены диаграммы состояния тройных жидких систем (ТЖС) $[\text{Th}(\text{NO}_3)_4(\text{ГБФ})_2]$ – (ГБФ=три-н-бутилфосфат) модификатор (алифатические спирты, карбоновые кислоты н-строения, хлорпроизводные растворители, ароматические углеводороды) – декан

при $T=298,15-333,15$ К. ТЖС характеризуется областью гомогенных растворов и областью двухфазных жидких систем (систем с расслоением). Модификатор и $[\text{Th}(\text{NO}_3)_4(\text{ТБФ})_2]$ распределяются в фазу(I), а другая фаза(II) обогащена деканом. Температура ($T=298,15-333,15$ К) существенно не влияет на область расслоения на две фазы. Для двухфазных систем характерно преимущественное распределение модификатора в фазу I, несмотря на то, что бинарные системы «модификатор – декан» являются однофазными.

Изучены диаграммы состояния ТЖС $[\text{Ln}(\text{NO}_3)_3(\text{ТБФ})_3]$ ($\text{Ln}=\text{Y}, \text{Lu}$) - $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{ТБФ})_2]$ (ТБФ=три-н-бутилфосфат)–тетрадекан при $T=288,15-345,15$ К. ТЖС характеризуется областью гомогенных растворов и областью двухфазных жидких систем (систем с расслоением), одна из фаз(I) обогащена $[\text{Ln}(\text{NO}_3)_3(\text{ТБФ})_3]$ и $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{ТБФ})_2]$, а другая фаза(II) тетрадеканом. Область расслоения на две фазы уменьшается с ростом температуры. Для двухфазных систем характерно преимущественное распределение $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{ТБФ})_2]$ в фазу I, несмотря на то, что бинарная система $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{ТБФ})_2]$ – тетрадекан является однофазной при всех изученных температурах.

Изучены диаграммы состояния бинарных жидких систем «синтетический углеводородный растворитель РЭД-1-солеваты нитратов редкоземельных металлов(III) (неодим, самарий, гадолиний, иттрий, иттербий и лютеций) с три-н.-бутилфосфатом» при $T=293,15-373,15$ К. Диаграммы состояния бинарных систем состоят из области гомогенных растворов и области расслоения на две жидкие фазы (I,II)–I фаза обогащена РЭД-1, а II фаза - $[\text{Ln}(\text{NO}_3)_3(\text{ТБФ})_3]$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}, \text{Y}, \text{Yb}$ и Lu). Области расслоения на две жидкие фазы в бинарных системах уменьшаются с ростом температуры. Верхние критические температуры смешения бинарных систем зависят от природы редкоземельных металлов (III) и возрастают при переходе от неодима (III) к лютецию (III).

Изучены диаграммы состояния ТЖС «синтетический углеводородный растворитель РЭД-1-солеваты нитратов редкоземельных металлов (III) (неодим, иттербий) с три-н-бутилфосфатом-растворитель ЭКСАЙД-100 (углеводороды с добавкой 20% ароматических соединений)» при $T=293,15-333,15$ К. Установлено, что замена РЭД-1 на ЭКСАЙД-100 приводит к гомогенизации органической фазы.

Изучены диаграммы состояния ТЖС $[\text{Th}(\text{NO}_3)_4(\text{ТБФ})_2]$ - $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{ТБФ})_2]$ (ТБФ=три-н-бутилфосфат) – РЭД-1 (тетрадекан) при $T=293,15-333,15$ К. ТЖС характеризуется областью гомогенных

растворов и областью двухфазных жидких систем (систем с расслоением), одна из фаз (I) обогащена $[\text{Th}(\text{NO}_3)_4(\text{ТБФ})_3]$ и $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{ТБФ})_2]$, а другая фаза (II) тетрадеканом (РЭД-1). Температура ($T=293,15-333,15 \text{ K}$) существенно не влияет на область расслоения на две фазы. Для двухфазных систем характерно преимущественное распределение $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{ТБФ})_2]$ в фазу I, несмотря на то, что бинарная система $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{ТБФ})_2]$ – тетрадекан является однофазной при всех изученных температурах. Распределение $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{ТБФ})_2]$ в фазу (I) приводит к перераспределению $[\text{Th}(\text{NO}_3)_4(\text{ТБФ})_2]$ в фазу (II). При всех изученных температурах точки критического состава ТЖС представляют собой составы с близким содержанием сольватов $[\text{Th}(\text{NO}_3)_4(\text{ТБФ})_2]$ и $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{ТБФ})_2]$.

Полученные в работе диаграммы трехкомпонентных систем с расслоением органических фаз позволяют предсказать области практического использования двух- и трехфазных систем в технологической практике.

ПОСТРАДИАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОБЛУЧЕННЫХ РАСТВОРАХ УГЛЕВОДОВ

Беляева М.Н., Супрунюк С.А., Языкова А.А.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

Актуальность изучения механизмов процессов, протекающих в облученных растворах углеводов после окончания их облучения, определяется двумя основными причинами:

- область применения ионизирующего излучения для пастеризации пищевых продуктов и стерилизации изделий медицинского назначения постоянно расширяется [1];
- создана новая технология получения лекарств, включающая стадию радиационной обработки растворов углеводов [2].

Объектами исследования являлись водные кислые ($\text{pH}=3$) и щелочные ($\text{pH}=11$) растворы сахарозы, рамнозы и ксилита (концентрации углеводов – $0,01 \text{ M} - 1 \text{ M}$). Облучение растворов проводили гамма-излучением изотопа Co-60 (поглощенная доза – 23 кГр , мощность дозы – Гр/с).

Методами оптической спектроскопии, химического анализа и жидкостной хроматографии высокого давления изучено влияние продолжительности хранения при комнатной температуре облученных растворов объектов исследования на их химический состав.

Для всех трех углеводов в кислой и щелочной средах обнаружено, что в течение 5–10 суток после окончания облучения в растворах продолжают химические процессы, приводящие к уменьшению концентрации одного из продуктов радиолитического распада – малонового диальдегида (МДА) и увеличению содержания других молекулярных продуктов. В щелочной среде пострадиационные процессы протекают быстрее, чем в кислой.

Установлено, что эффективность радиационно-химического образования МДА существенно зависит от исходной концентрации углевода.

Обнаруженные эффекты свидетельствуют о том, что для корректного изучения механизмов радиационно-химических превращений сложных органических соединений, необходимо учитывать взаимодействие молекулярных продуктов радиолитического распада в облученных растворах.

Литература

1. Morrisey R.F., Herring C.M.// Radiation sterilization. Past, present and future// Radiat. Phys. And Chem. 2002, 64, 3-6, p.217 -221.
2. Юдин И.В., Гальцев Ю.В., Захряпин С.Б. Патент № 2281103 от 10.08.06. Способ получения средства на основе сахаров, обладающего противовирусной и гепатопротекторной активностью. Заявка № 2003137867 от 26.12.03.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ШТАММОВ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ СВЯЗЫВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ СТРОНЦИЯ-90, ЦЕЗИЯ-137 И НИКЕЛЯ-63

Суслова Н.А.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)*

Использование микроорганизмов для связывания ионов тяжелых металлов считается перспективным способом решения проблемы очистки

окружающей среды от загрязнений промышленными отходами, содержащими соли тяжелых металлов и радионуклиды. Предполагается, что микроорганизмы, обладающие подобными свойствами, могут в первую очередь обитать в природной и техногенной среде с экстремальными условиями.

Из коллекции, собранной в ПИЯФ РАН, отобрано несколько штаммов, которые обладают способностью расти в среде, содержащей нерадиоактивные стронций и (или) цезий и (или) никель. Из них было отобрано несколько штаммов, хорошо растущих на подобной среде, и они были проверены на способность связывать радиоактивные элементы.

Для определения эффективности связывания клетками радиоактивных изотопов металлов использовалась методика, в основе которой лежит использование сцинтилляционного счетчика Beckman LS6500. Штамм *Pseudomonas* sp. проявил высокую эффективность связывания ^{90}Sr в первые сутки (до 80%), а штамм № 3 в третьи сутки (до 70%). Штамм *Pichia farinosa* N46 проявил высокую эффективность связывания ^{137}Cs на шестые сутки (до 45%), а штамм *Deinococcus radiodurans* на восьмые сутки (до 40%). Штамм № 2312/1 проявил высокую эффективность связывания ^{63}Ni на шестые сутки (до 45%), штамм № 2312/2 на четвертые сутки (до 35%), а штамм № 2312/9 на шестые сутки (до 35%).

Представленные данные позволяют сделать заключение, что клетки штаммов устойчивы к высокой концентрации нерадиоактивного стронция, цезия и никеля, способны расти при наличии хронического β -облучения радиоактивных ^{90}Sr , ^{137}Cs и ^{63}Ni и связывают их.

В работе еще не проведена оптимизация условий роста для получения максимальной эффективности связывания ионов тяжелых металлов микроорганизмами. Но даже на этом этапе можно с уверенностью утверждать, что оптимизация условий выращивания клеток позволит многократно увеличить эффективность связывания радионуклидов.

Результаты работы могут быть использованы в технологиях ремедиации окружающей среды, а также для более полного извлечения таких ценных сырьевых элементов, как никель, стронций, цезий.

ПРОБЛЕМА ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Уланова Т.Е., Никитин В.А., Писецкий В.В.

Саровский государственный физико-технический институт

Перед разработчиком измерительных систем постоянно встает проблема выборов вариантов реализации, как отдельных узлов, так и системы в целом. Для построения оптимальной системы приходится делать выбор между программной или аппаратной реализацией устройств и блоков, выбор элементной базы или выбор типа процессорного блока. Отдельной задачей является оптимальное (с точки зрения того или иного набора критериев) разделение микропроцессорного устройства на программную и аппаратную компоненты. Ошибки в выборе критериев приводят к построению либо недостаточно эффективного, либо излишне дорогого устройства.

При синтезе тиражируемой системы главный аргумент, влияющий на набор критериев – уменьшение стоимости единичного изделия за счет удорожания разработки, в то время, как при синтезе уникального оборудования данное требование является скорее негативным. Объясняется это кажущееся противоречие тем, что разработка тиражируемой аппаратуры – однократный акт, и его стоимость распределяется на всю партию. Уникальная же аппаратура, как следует из названия, изготавливается в единичном или незначительном количестве экземпляров. Таким образом, совокупность всех выборов, выполняемых разработчиком системы (как конкретных решений, так и наборов критериев) сливается в единую проблему оптимального выбора.

В работе предпринята попытка продемонстрировать методику решения такой проблемы на примере создания уникальной измерительно–управляющей системы.

Исходя из требований к разрабатываемой системе и схемы ее подключения к уже имеющемуся оборудованию, разрабатывается функциональная схема системы. Затем анализируются следующие варианты реализации подобной системы:

- система на дискретных элементах;

Для реализации такой системы, потребуется, по оценке, 72 корпуса микросхем низкой и средней степени интеграции. Ток потребления такого устройства от источника питания +5 В будет составлять около 2 А – для питания микросхем и 2 А – для питания индикаторов.

- система на базе ОЭВМ;

Для реализации такой системы, потребуется, по оценке, 32 корпуса микросхем низкой и средней степени интеграции и 1 микросхема – собственно ОЭВМ – высокой степени интеграции.

Если руководствоваться оценкой, приведенной выше, то ток потребления уменьшается почти на 2 А – за счет замены светодиодных индикаторов на ЖКИ – дисплей.

Кроме того, потребуются кросс-средства и система отладки, необходимые для написания программной компоненты и ее интеграции с аппаратной компонентой.

- система на базе SoC;

Для реализации такой системы, потребуется, по оценке, 16 корпусов микросхем низкой и средней степени интеграции и 1 микросхема – собственно ОЭВМ – высокой степени интеграции. Большинство функциональных компонентов системы оказалось перемещено внутрь микросхемы SoC. Снаружи остались только узлы, непосредственно принимающие входные или формирующие выходные сигналы. Перенос их внутрь микросхемы нецелесообразен из соображений надежности работы.

Как и в предыдущем случае, потребуются кросс-средства и система отладки, необходимые для написания программной компоненты и ее интеграции с аппаратной компонентой.

- система на основе ПЛИС.

Система на базе ПЛИС является логическим объединением первого и последнего из рассмотренных подходов. В этом случае внутри микросхемы ПЛИС формируется заданная архитектура устройства.

В предельном случае, внутрь ПЛИС можно было бы занести все элементы функциональной схемы. Однако более целесообразным представляется вариант, когда кроме этой схемы внутри ПЛИС формируются еще ряд автоматов, обеспечивающих обслуживание клавиатуры и вывод информации на ЖКИ – дисплей.

Такая система, при всех ее положительных свойствах, может, тем не менее, оказаться сложной в реализации. Во-первых, для размещения требуемых компонентов может потребоваться достаточно сложная (а, как следствие, более дорогая) микросхема. Кроме того, изготовление печатной платы с такой микросхемой может оказаться сложным из-за отсутствия доступной технологической базы.

Таким образом, оптимальным выбором для системы, изготавливаемой в единственном экземпляре, является система на базе SoC. На основании подобного выбора была разработана и изготовлена система.

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВОК КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ИЗОТОПА ^{28}Si ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Федорова С.Н., Степанов А.В., Чередниченко С.А., Хорошилов А.В.

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

В настоящее время проявляется повышенный интерес ко всем стабильным изотопам кремния, и в особенности к изотопу ^{28}Si , что обусловлено перспективами его использования в микроэлектронике вследствие повышенной теплопроводности. Рост интереса к изотопам кремния делает актуальной задачу создания экономичной технологии их производства.

Среди физико-химических способов разделения изотопов кремния можно выделить процессы ректификации кремнийсодержащих соединений: силана SiH_4 , тетрафторида SiF_4 и тетрахлорида SiCl_4 кремния, а также химический изотопный обмен в системе SiF_4 – комплекс SiF_4 с алифатическими спиртами ROH .

Целью проведенных технологических расчетов было определение основных параметров установок для разделения изотопов кремния: потоков и габаритов разделительного оборудования. Для расчета числа теоретических ступеней разделения N в колонне методом Эйлера решалась система дифференциальных уравнений, предназначенная для расчета стационарного профиля концентраций изотопов в колонне при разделении трехкомпонентной изотопной смеси.

Высокая природная концентрация целевого изотопа ^{28}Si (92,23 ат. %) приводит к необходимости создания исчерпывающей секции в установке по разделению изотопов кремния. Наличие секции исчерпывания (то есть работа по закрытой схеме) позволяет сократить сырьевой (питающий) поток, который перед процессом разделения требует предварительной подготовки (очистки) и, следовательно, дополнительных затрат на проведение такой подготовки, и повысить степень извлечения изотопа ^{28}Si из сырья.

При расчете промышленных установок были заданы следующие условия:

- производительность установки $P=10$ кг $^{28}\text{Si}/\text{год}$;
- время работы установки – 8000 ч/год;
- концентрация целевого изотопа ^{28}Si в продукте 99,9%;
- концентрации изотопов в потоке питания – природные;
- концентрация целевого изотопа ^{28}Si в отвале 75,0%;
- относительный отбор $\theta=0,60$;
- относительная нагрузка: для процессов ректификации – $\varphi=0,7$;

X Международная молодежная научная конференция «Полярное сияние 2007»

- для процесса химического изотопного обмена плотность орошения колонны $L_{уд.}=0,12$ моль $SiF_4/(см^2 \cdot ч)$;
- в установках используется спирально-призматическая насадка $2 \times 2 \times 0,2$ мм;
- в процессе химического изотопного обмена в качестве комплексообразователя используется пентанол-1.

Условия проведения процесса разделения изотопов кремния методами ректификации и химического обмена, данные по коэффициентам разделения α_{28-30} , габариты разделительного оборудования и энергозатраты на обращение потоков сведены в таблицу.

Таблица. Условия проведения процесса и основные технические характеристики физико-химических методов разделения изотопов кремния.

Метод разделения	ХИО	Ректификация		
		SiF_4	$SiCl_4$	SiH_4
Рабочее вещество или система	$SiF_{4(r)}$ - $SiF_4 \cdot 2ROH_{(ж)}$			
Температура T, К	293	199	330,5	156
Давление P, атм.	1	3,73	1	0,74
Коэффициент разделения α_{28-30}	1,017	1,00183	1,00036	1,00061
Циркулирующий поток L, моль $SiX_4/ч$	9,34	87,1	443	261
Удельная нагрузка $L_{уд.}$, моль $SiX_4/(см^2 \cdot ч)$	0,12	8,10	2,05	4,40
Диаметр колонны D, мм	100	37	166	87
ЧТСП концентрирующей части N_p	977	9115	46356	27356
ЧТСП исчерпывающей части N_w	310	2856	14504	8563
ЧТСП в установке N	1287	11971	60860	35919
ВЭТС, см	12,7	3,3	3,7	6,9
Высота колонны H, м	163	396	2271	2464
Объем колонны V , м ³	1,27	0,43	49,37	14,62
Энергозатраты на обращение потоков Q, кВт	0,37	0,33	3,52	0,92
Расход электроэнергии Q_E , кВт ч/год	2960	2640	28160	7360
Расход охлаждающей воды L_{H_2O} , м ³ /год	2550	-	24253	-
Расход жидкого азота L_{N_2} , т/год	-	48	-	133

Как видно из данных, представленных в таблице, процессы ректификации силана SiH_4 и тетрахлорида кремния SiCl_4 отличаются от ректификации тетрафторида кремния SiF_4 и процесса химического изотопного обмена между SiF_4 и его комплексом с пентанолом-1 существенно большими энергетическими затратами и существенно большим объемом разделительного оборудования. Данный факт делает ректификацию SiH_4 и SiCl_4 непригодными для практической реализации.

Наименьший объем разделительного оборудования необходим при ректификации SiF_4 , однако данный процесс проводится при низких температурах и повышенном давлении, что осложняет его практическую реализацию.

Разделение изотопов кремния методом химического изотопного обмена между SiF_4 и его комплексом с пентанолом-1 осуществляется при комнатной температуре и атмосферном давлении. От процессов ректификации кремнийсодержащих соединений его отличает наибольшее значение коэффициента разделения изотопов кремния α_{28-30} и наименьшая высота колонны, необходимая для достижения заданной концентрации изотопа ^{28}Si . Перечисленные факторы совместно с малыми энергетическими затратами на обращение потоков делают метод химического изотопного обмена весьма привлекательным для практической реализации.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫГОРАНИЯ В ТВЭЛАХ ЛЕГКОВОДНЫХ РЕАКТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SCALE 5

Филимонов С.Н.

*Обнинский государственный технический университет
атомной энергетики*

Настоящая работа имеет целью верификацию программного комплекса SCALE 5 [1], поставленного в ОГТВАЭ для учебных целей в соответствии с соглашением между ИАТЭ и RSICC (Radiation Safety Information Computational Center, Национальная лаборатория «Оук Ридж», США), и моделирование пространственной неоднородности выгорания топлива в ТВЭлах легководных реакторов.

Проведенная верификация ориентирована на расчеты изотопного состава топлива и определение эффективного коэффициента размножения нейтронов в бесконечной ячейке реактора. В качестве бенчмарков были выбраны два, предложенные NEA (Nuclear Energy

Agency)[2] и ORNL (Oak Ridge National Laboratory)[3]. Расчет бенчмарков проводился с помощью контрольного модуля SCALE 5: TRITON[4].

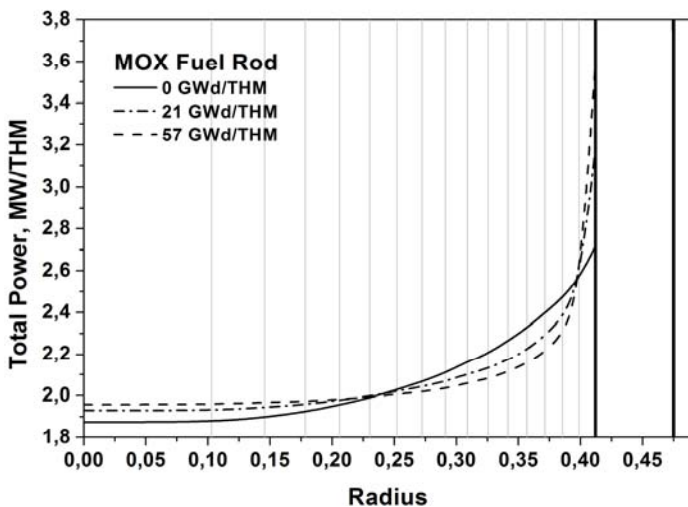
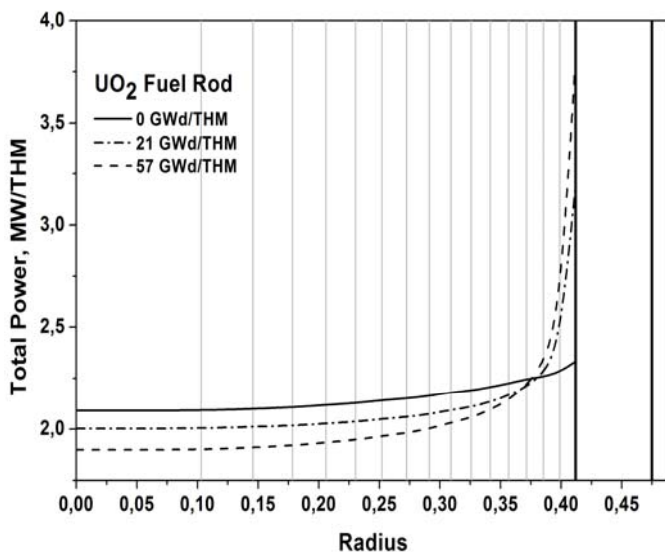


Рисунок. Распределение полного энерговыделения по радиусу топливной таблетки при различном выгорании.

После проведения верификации программного комплекса SCALE 5 на предмет расчета выгорания, были проведены расчеты радиального распределения выгорания топлива. При сжигании топлива в реакторах возникает, так называемый rim-эффект, который отрицательно влияет на теплообмен, вызывает разрушение оболочки твэла. Rim-эффект возникает при достижении выгорания порядка 40-50 ГВт·день/ТТМ в UO_2 и MOX топливе, и обусловлен накоплением продуктов деления, высокой пористостью во внешней области топливной таблетки.

Моделирование радиальной неоднородности выгорания топлива производилось при помощи программного комплекса SCALE 5 с использованием контрольного модуля TRITON. Получена зависимость количества делений (рисунок) и изменение концентраций значимых нуклидов от радиуса топливной таблетки для MOX и UO_2 топлива.

Литература

1. SCALE 5, SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, RSICC, CCC-7252.
2. O'Connor G.J., Bowden R.L., Thorne P.R. – Phase IV-A: Reactivity Prediction Calculations for Infinite Arrays of PWR MOX Fuel Pin Cells – Nuclear Science, NEA/NSC/DOC (2003) 3.
3. DeHart M.D., Brady M.C., Parks C.V. – Burnup Credit Calculational Criticality Benchmark Phase I-B Results – ORNL, NEA/NSC/DOC(96)-06.
4. DeHart M.D. – Triton: a two-dimensional depletion sequence for characterization of spent nuclear fuel – Nuclear Science and Technology Division(94), ORNL/NUREG/CSD-2/R7.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКСТРАКЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ЯДЕРНОГО ГОРЮЧЕГО

Хлебус К.А., Пищулин В.П.

Северская государственная технологическая академия

Приводятся новые разработки колонных пульсационных экстракторов с щадящим режимом диспергирования фаз без образования микроэмульсий и без продольного перемешивания.

В последнее время процессы экстракции играют все большую роль в процессах извлечения, разделения и очистки веществ в химической, радиохимической, нефтехимической, фармацевтической и других отраслях промышленности.

Становление атомной промышленности привело к интенсивному развитию экстракционной технологии. С использованием экстракционных процессов удалось решить проблемные вопросы комплексной переработки урановых руд, аффинажа руд, переработки облученного ядерного горючего и отходов химико-металлургического производства.

В процессе экстракции часто приходится сталкиваться с возникновением микроэмульсий в различных типах экстракторов. Микроэмульсии в процессе экстракции создают значительные помехи в повышении эффективности процесса: снижают производительность оборудования, изменяют структуру потоков, снижают степень извлечения полезных веществ и увеличивают их потери с водно-хвостовыми растворами. Кроме того, образование микроэмульсий совместно с гидродинамическими особенностями конструкций колонных пульсационных экстракторов, приводит к продольному перемешиванию потоков фаз, осложняющему проведение и снижающему эффективность процесса экстракции, затрудняющему математическое моделирование и расчет оборудования.

Проведен анализ конструкций колонных смесительно-отстойных пульсационных экстракторов: с развитой поверхностью отстойника, с подвижным диспергатором и с тарелками стабилизации фаз, работающими без образования микроэмульсий и без продольного перемешивания. Это позволяет улучшить качество технологических процессов, более широко распространить экстракционные процессы в добывающем производстве цветной металлургии, редких и благородных металлов, повысить их извлечение и снизить потери с хвостовыми растворами.

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Шерматов И.А., Букреев В.Г.

Северская государственная технологическая академия

Одним из важных факторов ускорения научно-технического прогресса является широкое внедрение вычислительной техники во все отрасли народного хозяйства.

Объем производства микропроцессоров и микроконтроллеров постоянно возрастает, улучшаются их технические характеристики и снижается стоимость. Микроконтроллеры и микропроцессоры благодаря реализованной в них возможности программного управления обладают свойствами универсальных устройств цифрового управления. Все это способствует массовому применению их в народном хозяйстве для цифровой обработки данных и управления различными объектами и процессами.

В работе описана модернизация технологического процесса по производству безводного фтороводорода путем внедрения цифровых устройств (микроконтроллеров) взамен морально устаревших аналоговых преобразователей, что обеспечивает улучшение работы всей системы в целом по показателям быстродействия и помехоустойчивости.

Использование микропроцессоров и микроконтроллеров в составе промышленного оборудования обеспечивает снижение на порядок их стоимости по сравнению с системами на элементах малой и средней степени интеграции, реализующих аналогичные функции. Одновременно достигается резкое уменьшение массы и габаритных размеров, а также энергопотребления систем. Переход на новую элементную базу повышает технологичность и воспроизводимость систем промышленной автоматики, резко расширяет экономически доступную сферу их применения.

Современный электропривод представляет собой конструктивное единство электромеханического преобразователя энергии (двигателя), силового преобразователя и устройства управления. Он обеспечивает преобразование электрической энергии в механическую в соответствии с алгоритмом работы технологической установки. Следовательно, эффективность энергосберегающих технологий в значительной мере определяется эффективностью электропривода. Разработка высокопроизводительных, компактных и экономичных систем привода является приоритетным направлением развития современной техники.

ВЛИЯНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ТОПЛИВА НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЫСТРОГО РЕАКТОРА

Шошина А.Н., Бурьевский И.В., Поплавская Е.В.

*Государственный научный центр Российской Федерации –
Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского*

Устинова Е.П.

*Обнинский государственный технический университет
атомной энергетики*

В соответствии с новой стратегией развития атомной энергетики в России к 2030 г. четвертая часть установленных мощностей АЭС должна приходиться на быстрые реакторы[1]. В связи с этим перед разработчиками встала задача создания большого коммерческого быстрого реактора БН-К, ввод которого в эксплуатацию намечен в 2018 г. Разрабатываемый коммерческий быстрый реактор должен быть конкурентоспособным, обеспечивать высокие показатели безопасности и технологическую защищенность топливного цикла от ядерного распространения. Из нейтронно-физических характеристик реактора самыми важными здесь являются величины НПЭР, КВА и запаса реактивности на выгорание.

В работе исследовано влияние изотопного состава загружаемого топлива на характеристики реактора БН-К. Зависимость характеристик от состава плутония рассматривалась в установившемся режиме перегрузок для открытого топливного цикла. Именно в таком топливном цикле реактор будет работать первые 8-10 лет до заполнения внешнего топливного цикла и его замыкания.

Изотопный состав плутония варьировался в достаточно широком диапазоне: (1) «оружейный» (декларированный)[2]; (2) энергетический «классического» состава 60/25/10.9/4.1%; (3) из ВВЭР-1000 без выдержки (без МА); (4) из ВВЭР-1000 с выдержкой 20 лет (без МА); плутоний с ПО «Маяк» 1980-х годов (с америцием (5) и очищенный (6)).

Полученные результаты демонстрируют существенное влияние состава плутония на критзагрузку, баланс плутония, показатели воспроизводства, запас реактивности на выгорание и величину НПЭР. Характеристики поля тепловыделения и величина нейтронного потока от состава плутония практически не зависят.

Критическая загрузка. Наименьшая загрузка по всему плутонию соответствует варианту с «оружейным» плутонием.

Таблица. Изотопные составы загружаемого плутония, %.

Состав плутония	Оружейный (декларирован)	Энергетический («классический»)	ВВЭР-1000		ПО «Маяк» 1977–1978 гг.	
			без выд.	20 лет	с Am	без Am
²³⁸ Pu	0,13	0	2,4	2,6	0,66	0,69
²³⁹ Pu	91,72	60	53,7	58,6	68,99	72,67
²⁴⁰ Pu	6,55	25	24,2	26,4	20,42	21,49
²⁴¹ Pu	1,06	10,9	13,4	5,0	2,02	2,14
²⁴² Pu	0,43	4,1	6,3	6,9	2,57	2,71
²⁴¹ Am	0,11	0	0	0,5	5,31	0,30

Наибольшая — варианту плутония выгружаемого из реактора ВВЭР-1000 с 20-летней выдержкой. Диапазон изменения критзагрузки от 9,2 до 11,5 т.

Показатели воспроизводства и запас реактивности на выгорание. Минимальное значение воспроизводства в активной зоне КВА соответствует оружейному плутонию (КВА=0,81), а максимальное (КВА=0,90) – варианту с плутонием из реактора ВВЭР-1000 с 20-летней выдержкой. На воспроизводство в экранях состав плутония активной зоны заметного влияния не оказывает.

Величина КВА коррелирует с запасом реактивности на выгорание: чем выше воспроизводство, тем меньше запас реактивности. Наибольший запас реактивности на выгорание соответствует варианту с оружейным плутонием (1,71% Δk/k), а наименьший – с плутонием с ПО «Маяк» (с америцием – 1,1% Δk/k).

Под балансом плутония подразумевается разность выгружаемого-загружаемого плутония за кампанию, как по сумме всех изотопов, так и по сумме делящихся. В случае плутония оружейного состава его баланс в активной зоне почти нулевой (воспроизводится почти столько же, сколько сгорает), в то время как в случаях с «грязным» плутонием баланс существенно отрицательный. По делящимся изотопам ситуация противоположная — чем «грязнее» плутоний, тем меньше его дефицит в активной зоне.

НПЭР и запас реактивности на выгорание. Чем плутоний «чище», тем меньше величина НПЭР. Это связано с сильной чувствительностью реакций деления пороговых изотопов плутония и америция к ужесточению спектра при осушении активной зоны. Отметим, что

зависимость НПЭР от изотопного состава прямо противоположна зависимости запаса реактивности на выгорание.

Выполненные исследования показали, что активная зона должна оптимизироваться под конкретный изотопный состав топлива, который предполагается в ней использовать. Под оптимизацией понимается небольшая коррекция высоты активной зоны, за счет которой возможно установить величины НПЭР и запаса реактивности на выгорание в заданные пределы. За счет этого быстрый реактор можно сделать «всеядным», способным потреблять плутоний любого состава.

Литература

1. Федеральная целевая программа «Создание новой технологической платформы развития атомной энергетики России с 2006 по 2012 годы и на период до 2020 года», Москва, 2006.
2. «BN-600 Reactor Personnel Does Rates when Using Weapons Grade Plutonium» Tsikunov A.G., Khokhlov G.N., Chebeskov A.N. Global, 2003.