

3. Гостьков В.В. Совершенствование технологии обработки водного теплоносителя на тепловых и атомных электростанциях на основе использования перспективных ионитов//Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Иваново, 2008. – 181 с.

### Разделение растворимых фосфатов тория и РЗЭ методом ионного обмена

*Турина М.В., Шагалов В.В.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

*E-mail: mvt6@tpu.ru*

В настоящее время существует три основных ядерных топливных цикла: уран-плутониевый цикл; цикл с рециркуляцией и уран-ториевый топливный цикл. Из них наименее развит уран-ториевый топливный цикл ввиду сложности добычи тория и высокой радиоактивности продуктов распада  $^{233}\text{U}$ , который является делящимся нуклидом в данном цикле. Вторая проблема может быть устранена при частичной автоматизации процесса, дистанционном управлении и мощной радиационной защитой [1].

В России имеются богатые месторождения тория, прогнозируемые ресурсы составляют 1 млн. тонн металла [2]. Торий – характерный элемент верхней части земной коры, основные породы содержат в среднем  $0,3 \cdot 10^{-3}$  % тория, а кислые изверженные породы –  $1,8 \cdot 10^{-3}$ , что на порядок превышает кларк урана [3]. В настоящее время наиболее перспективным считается расположенное в Томской области Туганское месторождение тория. Оно способно обеспечить переход на ториевый цикл всех 29 энергоблоков России и 40 энергоблоков бывших стран СЭВ [4]. Основная сложность состоит в извлечении тория из природных руд и отделении его от всегда сопутствующих редкоземельных металлов. Благодаря комплексной переработке монацитового концентрата с попутным разделением тория и РЗЭ возможно сократить расходы на сырьё для уран-ториевого ядерного топливного цикла.

В уран-ториевом цикле изотоп  $^{232}\text{Th}$  является сырьевым нуклидом, а делящимся – изотоп  $^{233}\text{U}$ , который образуется вследствие облучения  $^{232}\text{Th}$  нейтронами в активной зоне ядерного реактора с делящимися нуклидами  $^{235}\text{U}$  или  $^{239}\text{Pu}$ . Уран 233 может использоваться как ядерное топливо, так как он вступает в реакцию деления под действием как тепловых, так и быстрых нейтронов [4].  $^{233}\text{U}$  извлекают из облученного ядерного топлива и превращают в топливо, изготавливая ТВЭЛы.

Преимуществами применения тория в ядерной энергетике являются его устойчивость к действию облучения, термическая устойчивость, механические и металлургические свойства и распространённость тория в природе. Торий длительное время находится в активной зоне реактора и подвергается жёстким условиям, таким как высокие температуры и мощные потоки ионизирующих излучений. Механические характеристики топлива будут определять надёжность и эффективность работы реактора. В отличие от урана, торию не свойственны рост ползучести, охрупчивание, радиационный рост и газовое распухание. Торий претерпевает аллотропное превращение при нагревании единожды при температуре 1400 °С, в отличие от урана, обладающего тремя аллотропными модификациями с температурами перехода 668 °С и 775 °С [1].

Ещё одним достоинством ториевых реакторов является содержание в природе преимущественно одного изотопа тория –  $^{232}\text{Th}$ , следовательно, не нужно проводить изотопное разделение, которое в случае с ураном занимает значительную часть технологического процесса [5].

Производство ториевой комбинации не потребует каких-либо дорогостоящих модификаций и перестроек в реакторах, которые будут использовать ее в качестве топлива [4].

Одним из основных источников тория является монацит, представляющий собой фосфаты редкоземельных элементов и тория. Содержание тория в монаците достигает 10 % в пересчёте на оксид тория. Существуют минералы, содержащие до 77 % тория в пересчёте на оксид, однако в настоящее время промышленная добыча тория происходит преимущественно из монацитовых россыпей. Содержание РЗЭ в монаците составляет 50-60 % в пересчёте на оксиды в зависимости от месторождения. С помощью гравиметрических и магнитных способов обогащения получают монацитовый концентрат, содержание  $\text{Ln}_2\text{O}_3$  в котором достигает 55-68 % [6].

Редкоземельные металлы нашли широкое применение в современном мире, в качестве металлов, сплавов и химических соединений они применяются в самых разных областях техники: в химической промышленности, чёрной и цветной металлургии, электронике и электротехнике, а

также в качестве магнитов и люминофоров [7]. Наиболее актуальной областью применения является ядерная техника. Некоторые изотопы Gd, Sm и Eu обладают очень высокими сечениями захвата тепловых нейтронов, к примеру, сечение захвата тепловых нейтронов  $^{157}\text{Gd}$  150 000 барн [8], что позволяет использовать их в качестве регулирующих стержней, а также выгорающих добавок в ядерном топливе для регулирования нейтронного баланса в активной зоне реактора. Благодаря этому свойству оксиды гадолиния, самария и европия используются для защиты от радиации в виде добавок в различные покрытия и краски. Соли лантана используются в качестве соосаждителей плутония при переработке ОЯТ методом сокристаллизации [1].

Следует заметить, что ни торий, загрязненный редкоземельными элементами, ни редкоземельные элементы, загрязненные торием, не могут использоваться в ядерной технике и в других отраслях промышленности. При наличии в ядерном топливе микроколичества РЗЭ, обладающих большим сечением захвата нейтронов, цепная реакция деления полностью затихает. Торий является радиоактивным элементом и его присутствие в редкоземельных металлах делает невозможным их применение во всех областях промышленности. Следовательно, необходимо тщательное разделение тория и редкоземельных металлов.

Целью работы является разделение растворимых фосфатов тория и РЗЭ методом ионного обмена.

Для работы использовался фосфатный раствор тория и РЗЭ (раствор фосфорной кислоты, содержащий ионы тория и РЗЭ). Концентрация фосфорной кислоты в растворе составляла до 5 моль/л. Для выбора ионита проводился ионный обмен в статических условиях, было исследовано использование анионитов и катионитов. Время контакта раствора с ионитом – 60 минут. Процентные соотношения тория и РЗЭ, соответствующие иониту и фосфатному раствору, приведены в таблице 1. Анализы проб проводились методом рентгено-флуоресцентного анализа.

Таблица 1. Мольное распределение ионов тория и РЗЭ на различных ионитах

Ионы	Исходный раствор, мольн. %	Анионит после сорбции, мольн. %	Раствор после сорбции на анионите, мольн. %	Катионит после сорбции, мольн. %	Раствор после сорбции на катионите, мольн. %
La	11,5	0,0	15,3	22,6	7,0
Ce	22,9	0,0	24,2	36,4	17,1
Nd	18,0	4,9	16,2	27,0	12,8
Y	26,5	27,5	24,2	13,4	29,7
Th	21,2	67,6	20,0	0,6	33,4

По полученным данным можно сделать вывод, на анионите предпочтительно осаждаются ионы тория и иттрия, которые образуют анионные комплексы. Использование анионитов не перспективно в связи с их низкой емкостью.

Разделение тория и РЗЭ происходит на катионите, при этом катионы РЗЭ сорбируются, а торий в виде фосфатного анионного комплекса остаётся в растворе. Малая часть тория осаждается на катионите вместе с РЗЭ, но эта часть также переходит в раствор при промывке катионита фосфорной кислотой.

С выбранным катионитом проводили ионный обмен в динамических условиях. Объём ионита составлял 10 мл, объём фосфатного раствора – 500 мл, пробы отбирались по 25 мл со скоростью прохождения раствором одного колонного объёма за 4 минуты. (2,5 мл в минуту). Распределение элементов приведено на рисунке 1.

На рисунке 1 приведено процентное соотношение ионов металлов в зависимости от количества фосфатного раствора, прошедшего через ионообменную смолу. Точками указаны процентные соотношения элементов в исходном растворе, то есть до прохождения раствором ионита.

Насыщение ионита ионами РЗЭ происходит в соответствии с их ионными радиусами: чем меньше радиус иона, тем быстрее он осаждается на ионите, следовательно, первыми на катионите осаждаются ионы иттрия, последними – ионы лантана, при этом в последствии ионы с большими ионными радиусами будут вытеснять ионы с меньшими ионными радиусами, что способствует частичному разделению РЗЭ.

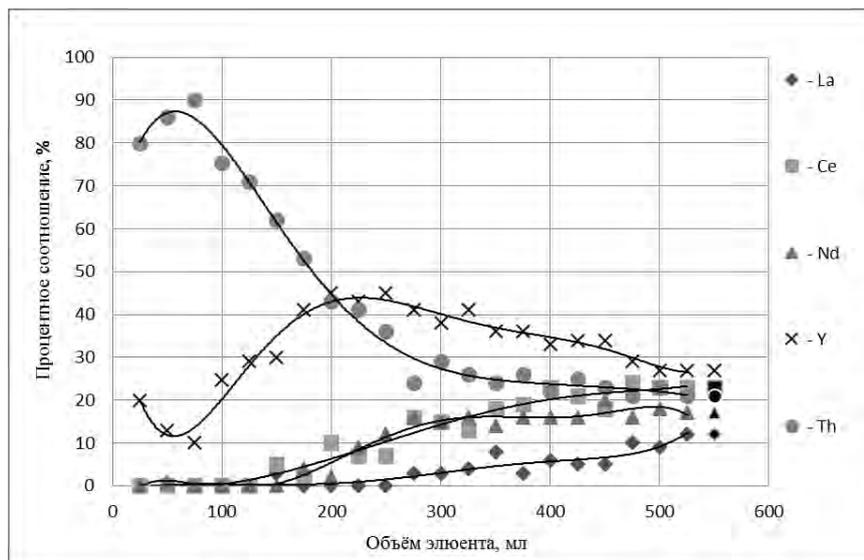


Рис. 3 Зависимость процентного соотношения элементов в растворе после сорбции от объема раствора

Совместное получение тория и РЗЭ из монацитового концентрата фосфатным методом является экологически чистым методом переработки монацита, так как фосфорная кислота может быть возвращена в производственный цикл. Для использования тория и РЗЭ необходимо их тщательное разделение друг от друга, которое можно провести методом ионного обмена. Разделение следует проводить на катионите, при этом торий в виде анионного комплекса остаётся в растворе, а ионы РЗЭ осаждаются на смоле. Регенерация смолы осуществляется комплексобразованием.

#### Список литературы

1. Жерин И. И., Амелина Г. Н. Химия тория, урана и плутония. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 147 с.
2. Пельмский Г. А., Котова В. М., Чехович П. А., Капитонов И. М. Торий – перспективный сырьевой ресурс атомной энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://istina.msu.ru/media/publications/articles/beb/765/395519/ron\\_1\\_2012\\_electron.pdf](http://istina.msu.ru/media/publications/articles/beb/765/395519/ron_1_2012_electron.pdf), – 28.04.2014
3. Каплан Г.Е., Успенская Т. А., Зарембо Ю. И., Чирков И. В. Торий, его сырьевые ресурсы, химия и технология. – М.: Атомиздат, 1960. – 224 с.
4. <http://www.profbeckman.narod.ru/>
5. Обогащение урана / Под ред. С. Виллани: Пер. с англ. Под ред. И. К. Кикоина. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
6. <http://www.metaltorg.ru/analytics/publication/index.php?id=2740/>
7. Т. А. Емелина, Ю. Ю. Верещагин. Редкоземельные металлы: применение, проблемы, перспективы // Уральский рынок металлов. – 2007. – УРМ. 174. – № 3. – С. 40-42.
8. Петрянов-Соколов И. В., Станцо В. В., Черненко М. Е. Популярная библиотека химических элементов. Т.2 Серебро – нильсборий и далее. – М.: Наука – 1983. – 566 с.

#### Проблемы функционирования атомной промышленности и пути их решения

**Фендель Д. А., Троянова Е.Н.**

*Новосибирский государственный технический университет, Россия, г.Новосибирск*

*E-mail: alukard.222@gmail.com*

Потребление энергии в мире растет намного быстрее, чем ее производство, а промышленное использование новых перспективных технологий в энергетике по объективным причинам начнется не ранее 2030 года. Решением проблемы может стать активное развитие ядерной энергетики.

На данный момент в мире обозначилась тенденция, получившая название «ядерный ренессанс». На эту тенденцию не смогла повлиять даже авария на атомной станции «Фукусима».