

УДК 621.039.531

ОСОБЕННОСТИ РЕАКТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАЛИФОРНИЯ-252 В ОАО «ГНЦ НИИАР»

© 2014 Ю.Г. Топоров¹, Е.В. Шимбарев¹, В.А. Тарасов¹, Е.Г. Романов¹,
А.В. Куприянов^{1,2}, Д.В. Козлов³

¹ОАО «Государственный научный центр –
Научно-исследовательский институт атомных реакторов», г. Дмитровград
²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва
³Научно-исследовательский технологический институт им. С.П.Капицы
Ульяновского государственного университета

Поступила в редакцию 16.12.2014

Изложены компетенции ОАО «ГНЦ НИИАР» в области производства трансплутониевых элементов (ТПЭ). Показаны модификации конструкции центральной нейтронной ловушки – ключевого реакторного устройства для наработки ТПЭ - в зависимости от поставленных в различное время задач. В сжатой форме приведена схема многоэтапного процесса производства калифорния, реализуемая на базе реактора СМ.

Ключевые слова: реактор СМ, трансплутониевые элементы.

ОАО ГНЦ НИИАР обладает уникальной экспериментальной базой, позволяющей производить наработку изотопов трансурановых элементов широкой номенклатуры, от Pu-238 до Cf-252. С использованием петлевого реактора МИР и, в большей степени, реактора СМ ловушечного типа, производится облучение мишеней с плутонием и кюрием.

Также в институте осуществляется изготовление мишеней для реакторного облучения и их радиохимическая переработка в условиях горячих камер, оснащенных специальным оборудованием, и с использованием соответствующих методик.

Продукция производится как в виде препаратов трансплутониевых элементов (в оксидной, металлической или иной форме), так и в виде источников излучения (рис. 1)

Реактор СМ эксплуатируется с 1961 года. Основная цель создания данной установки – получение далёких трансурановых элементов. Высокообогащенное топливо (90% по U-235), компакт-



Рис. 1. Источники излучения на основе Cf-252

ная активная зона и мощность до 100 МВт (тепловых) позволяют достигать высоких плотностей потока нейтронов в облучательных ячейках. Основным реакторным устройством для облучения мишеней с трансплутониевыми элементами является нейтронная ловушка, расположенная в центре активной зоны (рис. 2).

Конструкция центральной нейтронной ловушки менялась на различных этапах с целью наиболее оптимального использования реакторного ресурса в зависимости от поставленных задач. С 1961 г и до 1990 г в центре реактора находился экспериментальный канал, в который можно было загрузить до 17 мишеней (рис. 3 а). После реконструкции был установлен бериллиевый блок с 27 облучательными ячейками (рис. 3 б). Использование бериллия позволило сделать спектр нейтронов более жестким, что способство-

Топоров Юрий Геннадьевич, кандидат технических наук, директор Центра Ответственности «Развитие и координация изотопной деятельности». E-mail: otir@niiar.ru
Шимбарев Евгений Васильевич, заместитель директора отделения. E-mail: otir@niiar.ru
Тарасов Валерий Анатольевич, заместитель директора отделения. E-mail: otir@niiar.ru
Романов Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, начальник лаборатории. E-mail: otir@niiar.ru
Куприянов Алексей Владимирович, аспирант, научный сотрудник. E-mail: otir@niiar.ru
Козлов Дмитрий Владимирович, кандидат физико-математических наук, начальник лаборатории НИТИ УлГУ. E-mail: kozlovdtv@ulsu.ru

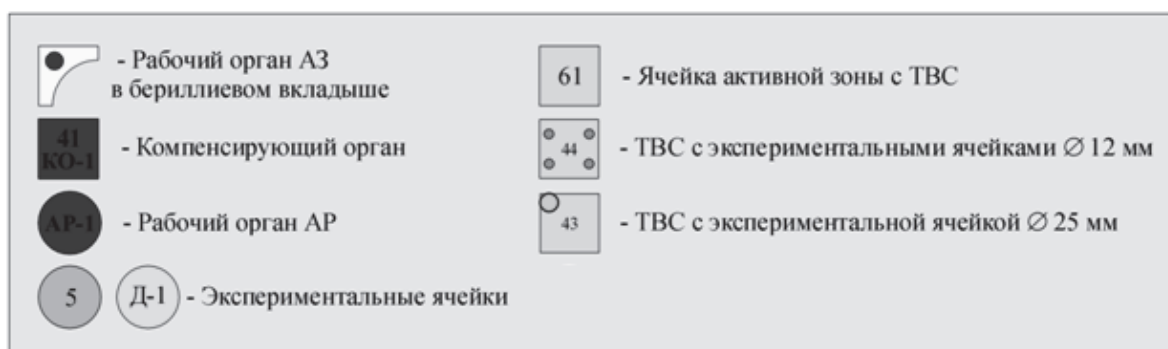
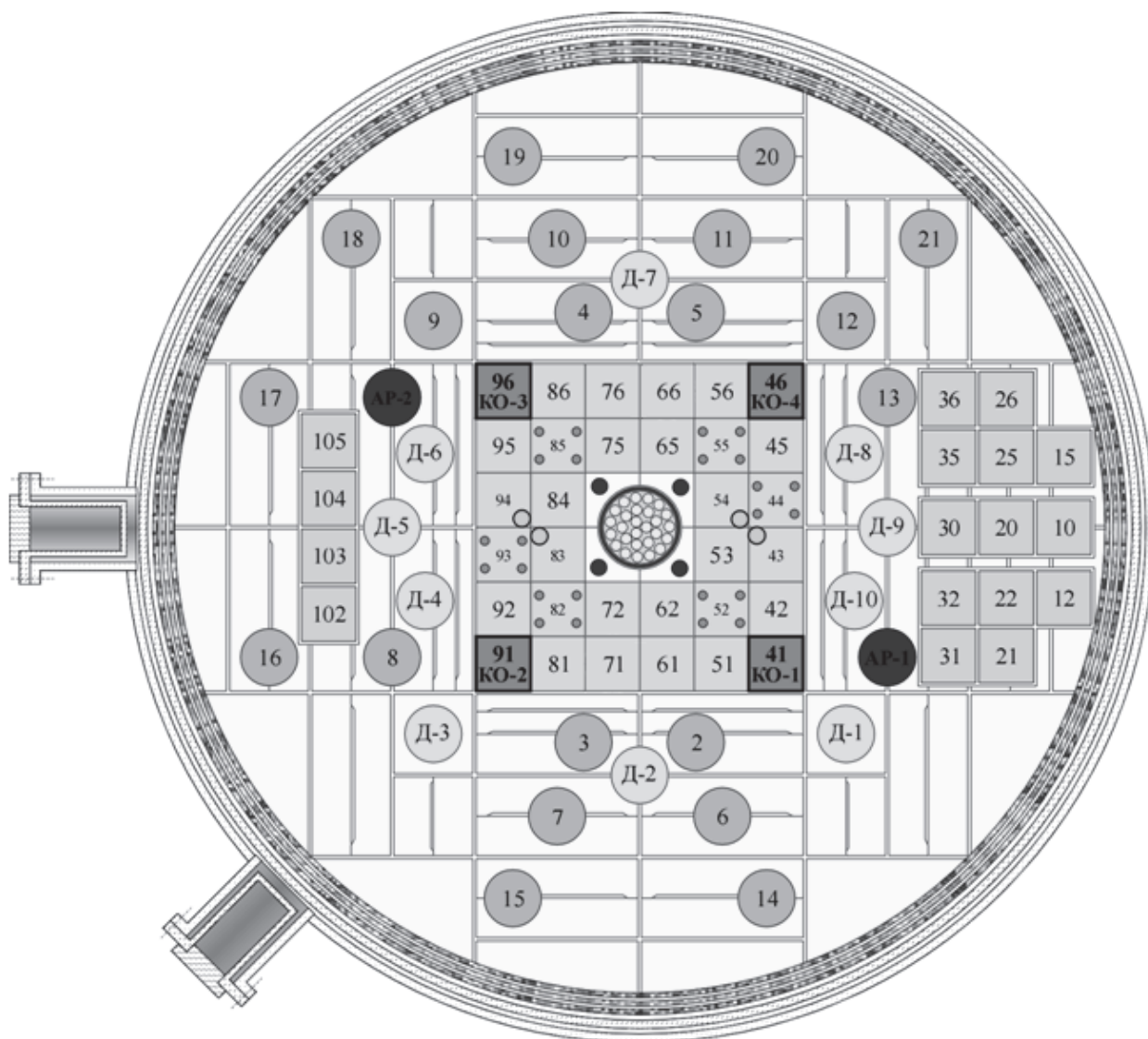


Рис. 2. Картограмма активной зоны реактора СМ

вало интенсификации наработки Cf-252. Поскольку реактор СМ востребован не только для накопления трансплутониевых элементов в настоящее время используется сепараторная конструкция с водяным заполнением (рис. 3 в), что позволяет увеличить плотность потока тепловых нейтронов. При следующей реконструкции реактора предполагается использование нейтронной

ловушки без центрального компенсирующего органа, что позволит существенно увеличить количество облучательных ячеек.

Особенностью реактора СМ является то, что облучательные ячейки могут быть расположены не только в центральной ловушке и бериллиевом отражателе, но также и в топливной зоне, где спектр нейтронов достаточно жесткий. Такие

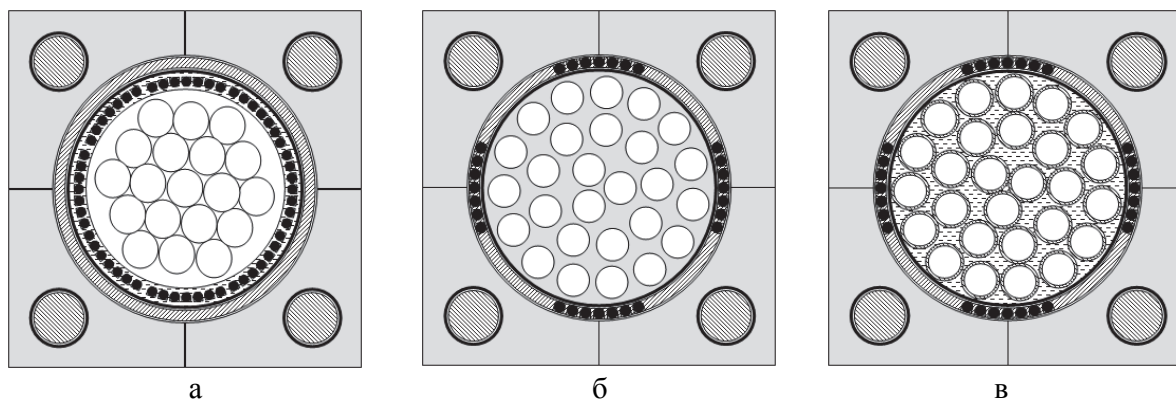


Рис. 3. Варианты компоновки центральной нейтронной ловушки.

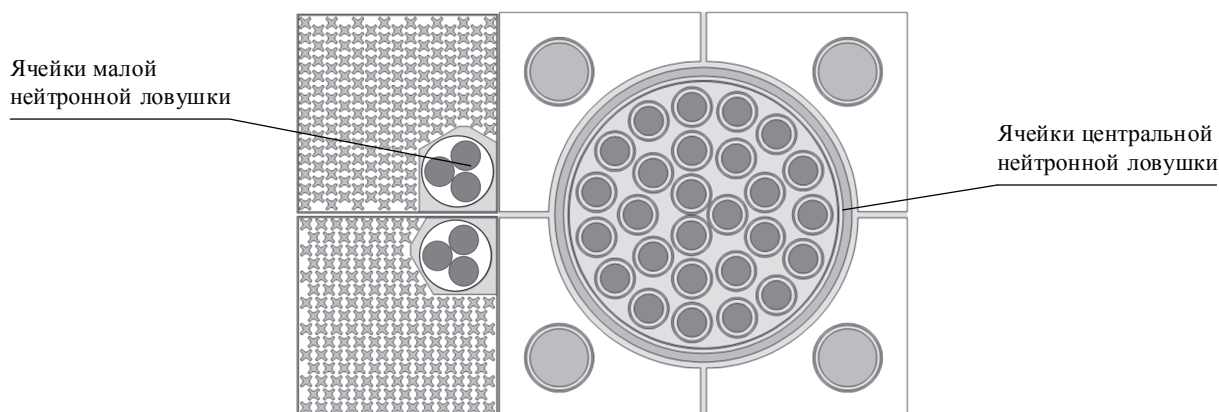


Рис. 4. Фрагмент активной зоны реактора СМ

ячейки используются для ускорения накопления Cm-244 при облучении мишеней с плутонием, поскольку в цепочке ядерных превращений важную роль имеют изотопы с большим значением резонансного интеграла захвата нейтронов. Одно из таких устройств, т.н. малая нейтронная ловушка, используется с 2009 года [1,2] (показана на рис. 4).

Малая нейтронная ловушка представляет собой две специальные ТВС, расположенные указанным на рис.4 способом, образуя замедляющую полость на границе с бериллиевыми вкладышами центральной нейтронной ловушки. В экспериментальном канале каждой из ТВС размещается до трех мишеней.

Калифорний и более тяжелые элементы не могут быть наработаны в значимых количествах в течение однократного непрерывного облучения плутониевых мишеней (даже если это займёт несколько лет) вследствие образования большого количества осколков деления, в том числе, газообразных. Поэтому накопление продуктов ТПЭ многоэтапно [3]. Полный цикл производства состоит из нескольких этапов, перечисленных ниже.

1. Изготовление мишеней с тяжелыми изотопами плутония (ТИП) (содержание Pu-242 > 25%).
2. Реакторное облучение мишеней с ТИП, наработка Cm-244, Am-243, Pu-242.

3. Промежуточная радиохимическая переработка: отделение осколков деления, получение препаратов Pu-242, Am-243, Cm-244.

4. Изготовление мишеней с Cm-244.

5. Реакторное облучение мишеней с Cm-244, наработка тяжелых изотопов кюрия (ТИК).

6. Промежуточная радиохимическая переработка: отделение осколков деления, получение препаратов ТИК, Bk-249, Cf-252.

7. Реакторное облучение мишеней с ТИК, получение Cf-252.

8. Финальная радиохимическая переработка: отделение осколков деления, получение препаратов ТИК, Bk-249, Cf-252.

На втором этапе облучается большее количество мишеней, чем на последующих, поэтому использование малой нейтронной ловушки позволяет компенсировать нехватку облучательных объемов. Получаемые сопутствующие продукты Am-243 и Pu-242, которые нарабатываются вместе с Cm-244, возвращаются в цикл производства.

Суммарная длительность всех этапов, начиная с облучения плутония, и заканчивая получением миллиграммовых количеств Cf-252, составляет около 5-6 лет. Одной из главных целей процесса является накопление запаса тяжелых изотопов кюрия с высокой долей Cm-246 и Cm-

Таблица 1. Нейтронно-физические характеристики устройств реактора СМ, используемых для облучения мишеней с ТПЭ

Место облучения	плотность потока нейтронов*, см-2с-1				Температура нейтронного газа, К
	0 ÷ 0.5 эВ	0.5 ÷ 100 эВ**	0.1 ÷ 100 кэВ	0.1 ÷ 20 МэВ	
Ближний канал отражателя	4.6E+14	3.4E+13	2.6E+14	3.7E+14	490
Малая нейтронная ловушка	4.4E+14	8.4E+13	9.0E+14	1.6E+15	575
Центральная нейтронная ловушка	1.4E+15	9.8E+13	7.3E+14	1.0E+15	470

*нормировано на мощность 100 МВт;

** на единицу летаргии.

248, что позволяет оперативно нарабатывать требуемое количество Cf-252.

Выбор соответствующего реакторного устройства и времени облучения для каждого этапа определяется с учётом плотности потока нейтронов и жесткости спектра, – первое в большей степени влияет на динамику трансмутации изотопов, а второе – на изотопный состав, определяющий качество получаемого продукта. В приведенной ниже таблице 1 показаны нейтронно-физические характеристики в объеме мишени, установленной в соответствующее реакторное устройство.

При исследовании свойств новых облучательных объемов, приведённых в статье, использовались программы пространственного моделирования транспорта нейтронов MCU [4] и MCNP [5], и моделирования трансмутации ChainSolver [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализуемая в ОАО «ГНЦ НИИАР» технология производства ТПЭ по схеме

Pu-240 → Cf-252 базируется на использовании двух исследовательских реакторов – МИР и СМ [7]. На первой стадии осуществляется наработка ТИП из Pu-240, облучаемого в реакторе МИР в количестве до 1 кг. В условиях умеренной плотности потока нейтронов в рабочих каналах реактора этот этап занимает продолжительное время (до 600 эфф. суток облучения), при этом потери стартового материала вследствие деления ТПЭ достигают 50%. В процессе облучения, помимо ТИП, в небольших количествах накапливаются также америций и кюрий.

После радиохимической переработки процесс разделяется на два направления. В первом ТИП

облучаются в каналах отражателя и малой ловушке реактора СМ, во втором – смесь изотопов америция и кюрия облучается в нейтронной ловушке с целью накопления ТИК. Время облучения в обоих случаях составляет около 200 эфф. суток. При облучении ТИП происходит накопление Pu-242, Am-243, Cm-244. Плутоний и америций возвращаются в цикл для наработки кюрия, а Cm-244 является стартовым материалом для накопления ТИК. На заключительном этапе ТИК используются в качестве стартового материала для получения транскюриевых элементов – Bk-249, Cf-252, Es-253.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (договор от «12» февраля 2013 г. № 02.G25.31.0015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыканов В.А., Клинов А.В., Старков В.А. и др. Основные итоги первого этапа модернизации активной зоны СМ // Атомная энергия, 2007. Т. 102. Вып. 2. С. 86-92.
2. Малков А.П., Петелин А.Л., Романов Е.Г. Способ формирования активной зоны исследовательского ядерного реактора. Пат. № 2400838 РФ G21C (05.08.09). БИ № 27, 2010.
3. Курьянов А.В., Романов Е.Г., Тарасов В.А. Критерии оптимизации и планирование масштабного реакторного производства ²⁵²Cf // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. №4(5). С. 1073-1077.
4. Гуревич М.И., Шкаровский Д.А. Расчет переноса нейтронов методом Монте-Карло по программе MCU: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2012.
5. Briesmeister J.F., Ed., "MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C," LA-13709-M, April 2000.
6. Radiation Safety Information Computational Center Newsletters, Oak Ridge National Laboratory, USA,

No.492, January 2006. URL: <http://www-rsicc.ornl.gov/Newsletters/news.06/news06jan.pdf>
(дата обращения 14.11.2014).

7. *Адаев В.А.* Оптимизация процессов накопления тяжелых изотопов кюрия в исследовательских реакторах. Дисс. ... канд. техн. наук. Димитровград, 2005.

PRODUCTION OF TRANSPLUTONIUM ELEMENTS IN THE SM REACTOR

@ 2014 Yu.G. Toporov¹, E.V. Shimbarev¹, E.G. Romanov¹, V.A. Tarasov¹,
A.V. Kupriyanov^{1,2}, D.V. Kozlov³

¹Joint Stock Company "State Scientific Center – Research Institute of Atomic Reactors", Dimitrovgrad

²National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)

³Research Institute of Technology named after S.P. Kapitsa of Ulyanovsk State Technical University

Competencies of JSC "SSC RIAR" in production of transplutonium elements are given. Modifications of neutron trap construction – key device in transplutonium elements accumulation – are shown in connection with goals, set at different times. Briefly described a scheme of multi-stage californium production process, realized on SM reactor.

Keywords: reactor SM, trans-plutonium elements.

Yury Toporov, Candidate of Technics, Director of Center for Responsibility "Development and Coordination of Isotope Management". E-mail: orip@niiar.ru

Evgeny Shimbarev, Deputy Director of Isotope Department. E-mail: orip@niiar.ru

Valery Tarasov, Deputy Director of Isotope Department. E-mail: orip@niiar.ru

Evgenii Romanov, Candidate of Technics, Head of Isotope Production Laboratory. E-mail: orip@niiar.ru

Aleksey Kupriyanov, Graduate Student, Researcher of Isotope Production Laboratory. E-mail: orip@niiar.ru

Dmitry Kozlov, Candidate of Physics and Mathematics, Head of Laboratory of Materials. E-mail: kozlovdv@ulsu.ru