



УДК 621.039

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННО ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОБЛУЧАЕМЫХ НЕЙТРОНАМИ

SPECTROMETRIC STUDIES OF RADIATION PROTECTIVE MATERIALS IRRADIATED WITH NEUTRONS

Козлов Андрей Владиславович, ведущий инженер-физик, АО «Институт реакторных материалов», г. Заречный, Свердловской обл., аспирант, каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: t53031@mail.ru. Тел.: +7(34377)351-46

Ташлыков Олег Леонидович, кан-т. техн. наук, доцент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: otashlykov@list.ru. Тел.: +7(343)375-97-37

Andrej V. Kozlov, Leading Engineer-Physicist, JSC «Institute of Nuclear Materials» Zarechny, Sverdlovsk reg., Master student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: t53031@mail.ru. Ph.: +7(34377)351-46

Oleg L. Tashlykov, Cand. Sci., Associate professor, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: otashlykov@list.ru. Ph.: +7(343)375-97-37

Аннотация: В докладе освещен один из этапов комплекса работ по оптимизации состава однородных радиационно-защитных материалов (РЗМ) применительно к планируемым условиям облучения. Рассмотрены особенности проектирования радиационной защиты от нейтронного излучения различных энергий. Показана необходимость учета вторичного гамма-излучения, возникающего при прохождении нейтронного потока через защитный материал. Описана технология проведения спектрометрических исследований образцов РЗМ, облученных нейтронами. Приведены результаты определения номенклатуры продуктов активации, образующихся в образцах защитного материала со свинцовым и баритовым наполнителями под действием нейтронного излучения.

Abstract: The report highlights one of the stages of works on optimization of the homogeneous radiation-shielding materials (RSM) for planned exposure conditions. The peculiarities of the design of radiation protection against neutron radiation of different energies is considered. The necessity of taking into account the secondary gamma radiation produced during the passage of the neutron flux through the barrier material is shown. The technology of spectrometric studies of RSM samples irradiated by neutrons is described. The results of determining the range of activation products formed in the samples of the protective material with lead and barite fillers under neutron radiation are given.

Ключевые слова: оптимизация радиационной защиты; однородный радиационно защитный материал; нейтронное излучение; исследовательский ядерный реактор; гамма-спектрометрические измерения.

Key words: radiation protection optimization; homogenous radiation protective material; neutron radiation; research nuclear reactor; gamma-spectrometric measurements.

ВВЕДЕНИЕ

С 2011 года специалистами Уральского федерального университета и АО «Институт реакторных материалов» ведутся работы по проектированию состава однородных защитных материалов при реализации принципа оптимизации радиационной защиты

применительно к ситуации планируемого облучения. Необходимым условием создания защиты с заданными поглощающими свойствами является возможность изготовления материала с равномерным распределением материала поглотителя (барита, свинца, вольфрама и т.д.) с требуемой концентрацией. Этим требованиям удовлетворяет однородный радиационно-

защитный материал (РЗМ) Абрис, разработанный специалистами ООО «Завод герметизирующих материалов» [1].

Химический состав матрицы гомогенного РЗМ Абрис в сочетании с тяжелым наполнителем дает основание прогнозировать возможность использования данного материала для защиты от смешанного нейтронного и γ -излучения при оптимальной концентрации поглотителя, подбираемой расчетным путем для ситуации планируемого облучения [2]. В настоящее время ведутся работы по расчетному обоснованию оптимального состава РЗМ. В период с 2011 по 2015 год проведены расчетно-экспериментальные исследования защитных свойств гомогенных РЗМ с различными (от 20 до 90%) концентрациями наполнителей барит, свинец, вольфрам по отношению к гамма-излучению широкого диапазона энергий (от 0,4 до 3 МэВ) [3], [4].

При проектировании защиты от нейтронного излучения необходимо учитывать, что процесс поглощения эффективен для тепловых, медленных и резонансных нейтронов, поэтому быстрые нейтроны предварительно должны быть замедлены.

Средняя потеря энергии при упругом рассеянии максимальна на легких ядрах (например, водорода) и минимальна на тяжелых. Вероятность потери энергии при неупругом рассеянии возрастает на тяжелых ядрах и с увеличением энергии нейтронов. Тепловые нейтроны диффундируют через защиту до тех пор, пока не будут захвачены или не выйдут за ее пределы. Поэтому важно обеспечить быстрое поглощение медленных и тепловых нейтронов выбором наиболее эффективных поглотителей. После захвата тепловых нейтронов почти всегда возникает вторичное гамма-излучение, которое необходимо ослабить.

Таким образом, защита должна иметь в своем составе водород или другое вещество для замедления быстрых или промежуточных нейтронов при упругом рассеянии, тяжелые элементы с большой атомной массой для замедления быстрых нейтронов в процессе неупругого рассеяния и ослабления от захватного гамма-излучения, элементы с высоким

эффективным сечением поглощения тепловых нейтронов [5].

Особенностью проектирования защиты от нейтронного излучения является необходимость учета генерации (возникновения) вторичного гамма-излучения в результате взаимодействия нейтронов с атомами защитного материала, а также возникновение наведенной гамма-активности в результате активации элементов защитного материала проходящим нейтронным излучением. Поэтому одной из задач проводимых исследований является облучение образцов защитного материала нейтронным потоком в исследовательском реакторе ИВВ-2М для последующего спектрометрического анализа с целью определения номенклатуры продуктов активации, образующихся в образцах под действием нейтронного излучения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Облучение образцов защитного материала проведено с целью определения номенклатуры продуктов активации, образующихся в материале под действием нейтронного излучения.

Для облучения выбраны образцы защитного материала со свинцовым и баритовым наполнителями. Массовое содержание наполнителя в обоих образцах составляет 50%. Материал матрицы РЗМ, включающей наполнители, имеет в своем составе следующие химические соединения:

- CaCO_3 (25%);
- Асбест ($\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$) - 7%;
- Углеводороды в форме CH_2 (18%).

Характеристики образцов представлены в табл. 1.

Облучение образцов проведено на исследовательском ядерном реакторе ИВВ-2М 08.04.2016 г. в «сухом» канале АК-1. Плотность потока тепловых нейтронов ($E < 0,625$ эВ) в «сухом канале» составляет $\sim 2,8 \times 10^{11}$ нейтр./($\text{см}^2 \times \text{с}$). Длительность облучения составила 10 минут.

Таблица 1.

Характеристика образцов защитного материала.

Название материала	Наполнитель	Массовое содержание наполнителя	Масса образца, г
Абрис РЗнк-01	BaSO_4	50%	9,22
Абрис РЗнк-02	Pb	50%	12,67

После облучения образцы переданы на гамма-спектрометрические измерения. Измерения образца со свинцовым наполнителем начаты через 15 минут после окончания облучения. Время экспозиции составило 10 минут. Измерения образца с баритовым наполнителем начаты через 27 минут после окончания облучения. Время экспозиции составило 5 минут.

Для гамма-спектрометрических измерений использовался поверенный радиометрический эталонный комплекс КРЭНА-ИВВ, предназначенный для измерения нейтронно-активационных детекторов и включающий в себя коаксиальный германиевый детектор типа GC 1019, многоканальный анализатор импульсов типа GammaFast и программное обеспечение Genie-2000 (Canberra).



Рис. 1. Гамма-спектрометрический комплекс

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 2, 3 и на рисунках 1-4 представлены результаты гамма-спектрометрических измерений. В представленных спектрах гамма-излучения использовано следующее обозначение цветов: Желтым цветом – так называемая подложка. В неё входят фоновый спектр, собственные шумы детектора, различные паразитные явления и т.д. Красным цветом обозначены синглеты, другими словами одиночные пики. Голубым цветом обозначены мультиплеты – это два и более пиков, перекрывающих друг друга. При мультиплете у двух соседних пиков образуется общая площадь. По специальному алгоритму программа распределяет эту площадь между соседними пиками.

Общая погрешность определения активности вычисляется по формуле

$$\sigma_{A(T)} = \sigma_A + \frac{\sigma_{sys} \cdot A}{100},$$

σ_A – случайная погрешность активности A ;
 σ_{sys} – систематическая погрешность, %;
 A – измеренная активность, мКи.

Указанная в результатах погрешность измерений складывается из погрешности определения высоты пика, погрешности определения площади синглетов и мультиплетов, степени идентификации нуклида, а так же методической и систематической погрешностей.

Таблица 2.

Результаты измерений образца со свинцовым наполнителем

Нуклид	Достоверность идентификации, %	Средневзвешенная активность, Бк	Погрешность измерения, Бк
Mg-27	98,6	$7,60 \times 10^5$	$3,02 \times 10^4$
Mn-56	98,5	$1,31 \times 10^6$	$4,75 \times 10^4$
Cd-109	97,5	$2,66 \times 10^5$	$2,97 \times 10^4$
Ba-139	100	$3,66 \times 10^4$	$1,36 \times 10^4$

Таблица 3.

Результаты измерений образца с баритовым наполнителем

Нуклид	Достоверность идентификации, %	Средневзвешенная активность, Бк	Погрешность измерения, Бк
Mg-27	98,8	$2,46 \times 10^5$	$1,36 \times 10^4$
Mn-56	98,6	$1,03 \times 10^6$	$3,45 \times 10^4$
Cd-109	97,4	$1,52 \times 10^6$	$1,64 \times 10^5$
Ba-139	100	$6,19 \times 10^7$	$2,26 \times 10^7$

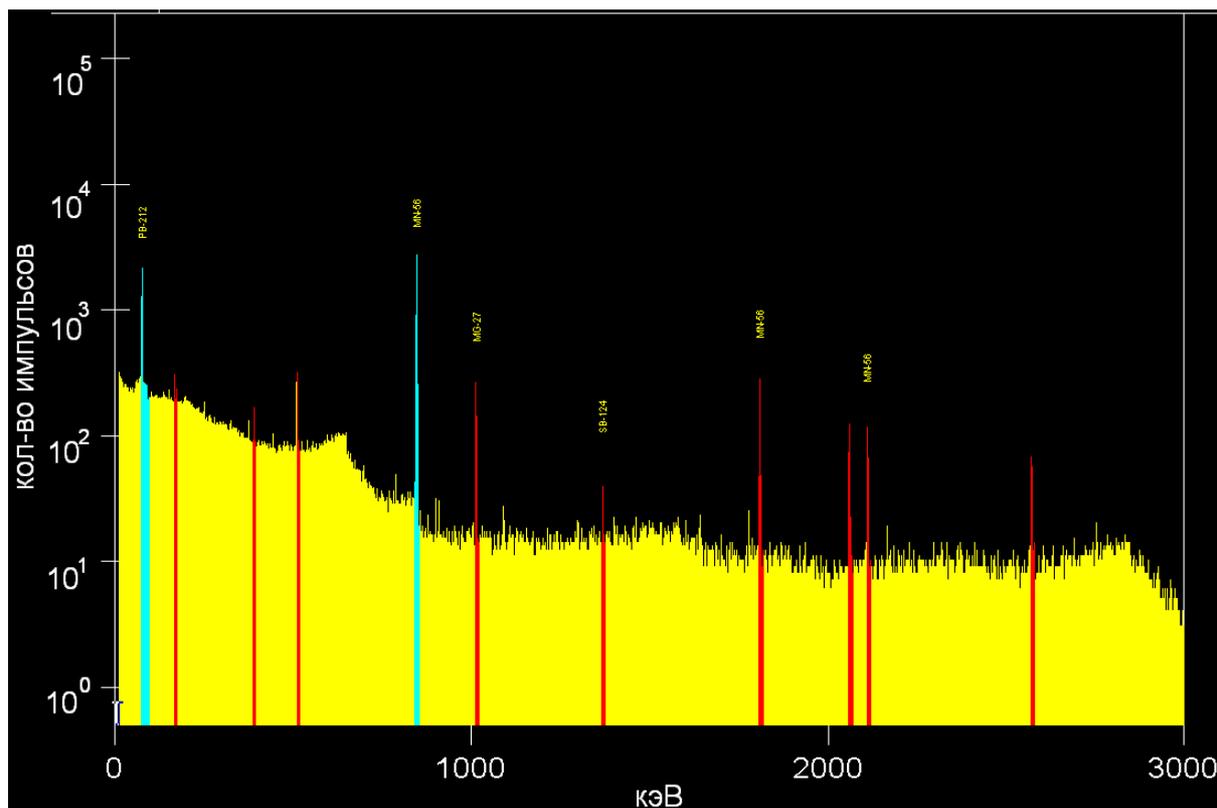


Рис. 2. Спектр гамма-излучения облученного образца со свинцовым наполнителем в логарифмическом масштабе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проводимые спектрометрические измерения образцов РЗМ с различным составом наполнителей являются важным этапом исследований по проектированию оптимального состава защитного материала, т.к. позволяют определить номенклатуру продуктов активации, образующихся в образцах под действием нейтронного излучения. Это позволит верифицировать расчетные результаты определения защитных свойств РЗМ по отношению к нейтронному излучению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Russkikh I. M., Seleznev E. N., Tashlykov O. L., Shcheklein S. E. Experimental and Theoretical Study of Organometallic Radiation-Protective Materials Adapted to Radiation Sources with a Complex Isotopic Composition // *Physics of Atomic Nuclei*, 2015, Vol. 78, No. 12, pp. 1451-1456
2. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Экспериментальное исследование защит от гамма-излучения органо-металлических композиций // *Глобальная ядерная безопасность*. 2015. № 2 (15). С. 49-55
3. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Расчетно-экспериментальное исследование гомогенных защит от гамма-излучения органо-металлических композиций // *Ядерная и радиационная безопасность*. № 3 (77). 2015. С. 17-24.
4. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Лукьяненко В.Ю., Михайлова А.Ф., Русских И.М., Селезнев Е.Н., Козлов А.В. Оптимизация состава радиационной защиты // *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. 2015. № 4. С. 36-42.
5. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1987. –192 с.