

Территория ядерного объекта и элементы комплекса инженерно-технических средств (КИТСФЗ) представляются в виде взвешенного графа. Таким образом, зная характеристики КИТСФЗ, возможно определить кратчайшее расстояние от одной вершины до другой – критический маршрут нарушителя.

Использование данной программной среды возможно для различных реально существующих ядерных объектов, т.к. возможно изменение, в рамках программы, плана объекта. Таким образом, возможно проведение оценки эффективности системы безопасности с максимального количества сторон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарсиа М. Проектирование и оценка систем физической защиты. – М: Мир: Издательство АСТ, 2002 г.
2. Физическая защита ядерных объектов: Учебное пособие для вузов/ П.В. Бондарев, А.В. Измайлов, А.И. Толстой; Под ред. Н.С. Погожина. – М.: МИФИ, 2008. – 584 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-КВАНТОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ГЕРМАНИЕВЫМ ДЕТЕКТОРОМ

Е.А. Маренкова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: eam33@tpu.ru

На сегодняшний день достаточно широко распространены полупроводниковые детекторы. Однако в ходе эксплуатации наружный слой кристалла изменяется, что оказывает влияние на характеристики самого детектора такие, как эффективность регистрации гамма-квантов и разрешение детектора. Деградация рабочих характеристик оказывает влияние на качество результатов измерений.

О толщине «мертвого» слоя можно судить по степени поглощения гамма-квантов различных энергий кристаллом детектора. Эксперимент содержит две части измерений стандартных образцов, отличающихся живым временем и количеством измерений каждого из образцов, геометрия измерений. Кроме того, вторая часть эксперимента выполнена на детекторе без защиты для исключения влияния рассеяний в материалах детектора. Расстояние между детектором и источников излучения учтено с помощью модели LabSOCS. Исходя из полученных в ходе измерений площадей рассчитаны эффективности регистраций гамма-квантов различных энергий кристаллом детектора. Рассчитанные значения сравнены с теоретической кривой эффективности. За теоретические значения принята кривая калибровки по эффективности, полученная в 2016 году и не учитывающая изменений в кристалле детектора за 4 года. По результатам двух частей эксперимента разработана методика периодической оценки изменения эффективности регистрации гамма-квантов полупроводниковым германиевым детектором, содержащая рекомендуемый список линий гамма-излучений, порядок процедур, исключение грубых ошибок в выборках площадей пиков, определение погрешностей.

Сравнение полученных результатов измерений площадей и активностей с учетом и без учета модели LabSOCS показало завышение результатов в области низких энергий и занижение в области высоких энергий при использовании модели LabSOCS. В работе отмечено, что эффективность регистрации гамма-квантов уменьшилась в период с 2016 года по 2020 год. Изменение неодинаково в рассматриваемом энергетическом диапазоне. Большим изменением характеризуется область энергий до 200 кэВ – 2,09 %, в области более 200 кэВ – 1,4 %. По результатам эксперимента сделан вывод о необходимости набора хорошей статистики и исключении факторов окружающей среды, влияющих на измерения, для адекватной оценки изменения

эффективности регистрации гамма-квантов детектором. Абсолютная погрешность не превышает 0,5 % при наборе не менее 10^4 отсчетов в пике полного поглощения независимо от геометрии измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушуев А.В. Методы измерения ядерных материалов в: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2007– 276 с.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДНЫХ ГЛИН КАК БАРЬЕРОВ ДЛЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАО

В.Ф Мышкин, Ван Цайлунь, И.В. Туксов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: caylun1224@gmail.com

Развитие атомной энергетики приводит к накоплению значительных количеств радиоактивных отходов (РАО). Потенциальная опасность актинидов сохраняется сотни тысяч лет. Для локализации РАО необходима разработка эффективных и экологически безопасных методов. Общеизвестно, что эффективным способом обращения с такими отходами является размещение их в геологических формациях, содержащих глины. Цель исследования – оценка коэффициентов диффузии различных катионов в глинистых минералах, используемых как барьер для локализации РАО.

Распространение РАО связано с диффузией радионуклидов в глине и в порах, а также переносом с помощью потоков воды. Установлено, что при плотности более $1,5 \text{ г/м}^3$ глинистые минералы практически не проницаемы для воды [1]. Большая часть радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , изотопы Pu и U) сорбируется на глине за счёт обмена ионами. Скорость ионного обмена зависит от термодинамики обмена, состава и концентрации раствора, от сорбируемых ионов и ионной формы глины. Более эффективно обмен катионов происходит из нейтральных растворов [2]. Это связано с тем, что ионы металлов не конкурируют с H^+ за активные центры.

Для оценки величины коэффициента диффузии катионов радионуклидов внутри кристаллитов иллита оценивали энергию связи межслоевых ионов с минералом с помощью программы для квантово-химических расчетов Materials Studio. В таблице приведены энергии кулоновской связи минерала иллита с ионами металлов. Известно, что координационные числа зависят от ионных радиусов. Координационные числа указаны в скобках, а радиусы приведены в ангстремах. Чем больше ионный радиус, тем на большее расстояние раздвигаются два соседних слоя атомов минерала, а суммарная энергия связи расчетной ячейки уменьшается. Максимальная энергия связи наблюдается для иона Na^+ .

Таблица 1

ион	Li	Na	K	Rb	Cs	Fr	Sr	Ra
энергия связи, кэВ	-23,930	-28,390	-26,293	-25,813	-25,374	-25,290	-26,515	-25,819
ионный радиус, Å	1,06 (8)	1,32 (8)	1,65 (8)	1,75 (8)	1,88 (8)	1,94 (6)	1,40 (8)	1,62 (8)

Видно, что с увеличением радиуса катионов щелочных элементов энергия связи уменьшается. Однако, литий выпадает из этой закономерности. Во втором периоде также наблюдается координация между энергией связи и ионного радиуса. Энергия, необходимая для преодоления ионом барьера в элементарной ячейке иллита связана с ионным радиусом. В докладе приводится анализ процессов, приводящих к уменьшению коэффициента диффузии катионов радионуклидов через иллит.