

3. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): ГН 10-117-99. – Минск, 1999. – 4 с.
4. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей пищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001): ГН 2.6.1.10-1-01-2001. – Минск, 2001. – 7 с.
5. Республиканский допустимый уровень содержания цезия-137 в лекарственно-техническом сырье (РДУ/ЛТС-2004): ГН 2.6.1.8-10-2004. – Минск, 2004. – 2 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩХ ИЗЛУЧЕНИЙ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

SIMULATION OF CHARACTERISTICS OF DETECTORS OF IONIZING RADIATION BY THE MONTE-CARLO METHOD

А. И. Дубровский¹, В. А. Береснева²
A. Dubrovskiy¹, V. Beresneva²

¹*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь*

²*Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны Национальной
академии наук Беларуси, г. Минский район, Республика Беларусь
a1dubrovskii@gmail.com*

¹*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

²*Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk region, Republic of Belarus*

В свете развития информационных технологий во всем мире широкое применение находят неаналитические численные методы расчета с использованием мощных вычислительных систем. В частности, весьма эффективным сегодня представляется использование метода Монте-Карло для моделирования переноса ионизирующих излучений и радиационных взаимодействий.

In the state of progressive extension of information technologies around the world, non-analytic methods of calculation are widely used by means of powerful computer systems. In particular, it is very effective today to use the Monte Carlo method to simulate the transport of ionizing radiations and radiation interactions.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, моделирование, ионизирующее излучение.

Keywords: Monte-Carlo method, modeling, ionizing radiation.

Современные компьютеры и вычислительные системы сегодня, как правило, обладают достаточным количеством ресурсов для решения сложных и трудоемких задач путем моделирования случайных процессов. Это особенно актуально в сфере ядерной индустрии, когда постановка реального эксперимента является дорогостоящей и трудноосуществимой физически. В частности, разработка приборов радиационного контроля – это сложный и наукоемкий процесс, который может быть в значительной степени упрощен использованием Монте-Карло кодов, с целью детального исследования взаимодействия ионизирующих излучений с детектирующими материалами.

Грамотная реализация модельного эксперимента позволяет быстро подобрать материал детектора, его объем, форму, вспомогательные конструктивы и их геометрические параметры так, чтобы в результате сборки характеристики будущего дозиметрического и/или спектрометрического прибора полностью соответствовали предъявляемым к нему требованиям. Иными словами, путем несложных экспресс-расчетов можно быстро и эффективно определить некоторые характеристики детектора еще на стадии планирования прибора радиационного контроля, что значительно упрощает и удешевляет процесс его разработки.

На сегодняшний день среди наиболее популярных Монте-Карло кодов можно выделить MCNP и GEANT4 [1]. Каждый из них имеет ряд преимуществ и недостатков, а также свою специфику написания модели (ее геометрию и физическую составляющую). Кроме того, существуют разные типы задач, связанных с регистрацией ионизирующих излучений, которые с большей или меньшей степенью точности могут быть решены при помощи MCNP и GEANT4. Поэтому для обсчета детектора, который предположительно ляжет в основу прибора, следует отдать предпочтение тому Монте-Карло коду, который может лучше справиться с поставленной задачей.

Была разработана модель детектора гамма-излучения, которая представляет собой цилиндрический кристалл иодида натрия 40×40 мм в алюминиевой оболочке толщиной 1 мм.

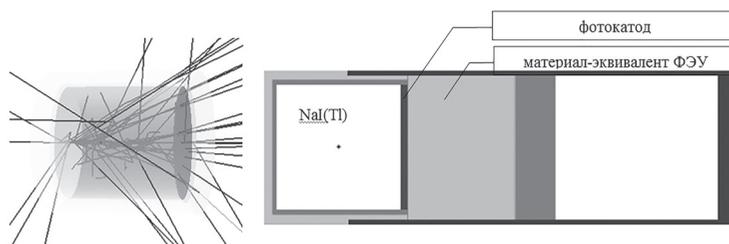


Рисунок 1 – Модель сцинтилляционного гамма-детектора

Полученные методом Монте-Карло амплитудные спектры изотопа Cs-137 и импульсная чувствительность хорошо согласуются с экспериментальными данными (табл. 1). Однако по полученной кривой эффективности фотопоглощения видно ощутимое отклонение в области низких энергий результатов, полученных в расчетах по коду GEANT4. В свою очередь данные, полученные по коду MCNP, имеют хорошую сходимость с экспериментальными во всем рассматриваемом энергетическом диапазоне [2].

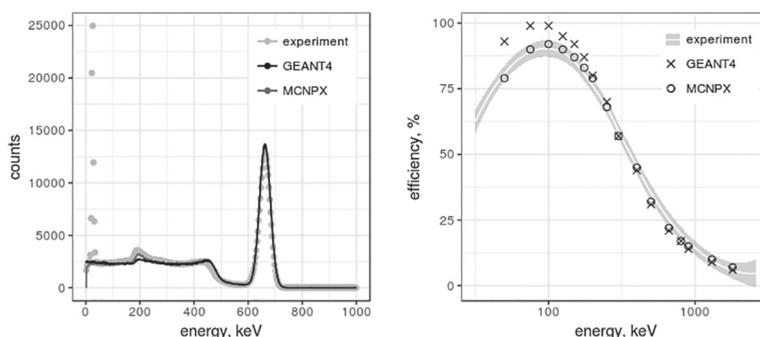
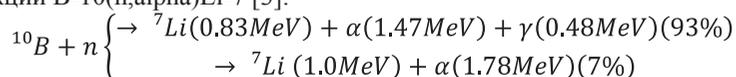


Рисунок 2 – Энергетические спектры изотопа Cs-137 и кривая эффективности регистрации

Также была разработана модель системы нейтронных детекторов на базе борных пленок, в состав которых входит диоксид бора, обогащенный по изотопу ^{10}B , мелкодисперсный сцинтиллятор ZnS и связующее вещество.

Система представляет собой пару цилиндрических световодов (оргстекло), обернутых пленкой. Детекторы вставляются в трубообразный полиэтиленовый замедлитель толщиной 2 см. Детектирование нейтронов происходит посредством реакции $\text{B-10}(n,\alpha)\text{Li-7}$ [3]:



Образующаяся в результате ядерной реакции заряженная частица взаимодействует со сцинтиллятором. Это может быть либо альфа-частица, либо ядро лития, но не обе частицы, поскольку они излучаются в противоположные стороны. Так как пробег этих частиц в детектирующем материале составляет порядка нескольких микрон [4], покрытие должно быть очень тонким.

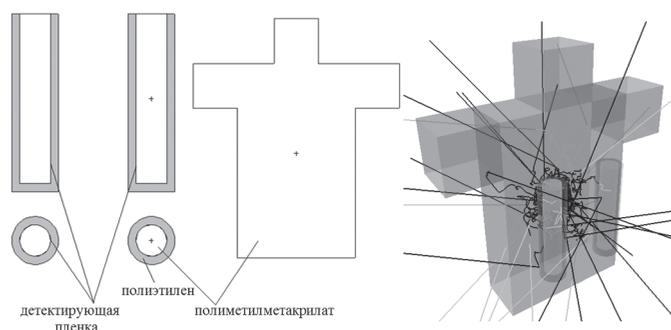


Рисунок 3 – Модель системы нейтронных детекторов на фантоме [5]

В GEANT4 использовалась модель QGSP_BERT_HP, где QGSP – кварк-глюонная струнная модель, BERT – модель внутриядерного каскада Бертини, HP – модель нейтронных взаимодействий с повышенной точностью.

Результаты моделирования показали, что эффективность регистрации тепловых моноэнергетических нейтронов (0,025 эВ) в пленке отличается от заявленной производителем незначительно (в пределах 5 %) и составляет 73 %. Была рассчитана импульсная чувствительность системы нейтронных детекторов (табл. 1).

Таблица – Импульсная чувствительность, рассчитанная ММК

Детектор	BO2:ZnS		NaI(Tl)
Источник	Тепловые нейтроны ($E = 0,025$ эВ), см ²	Cf-252, см ²	Cs-137, cps/мкЗв/ч
MCNP	0,0118	0,0043	767,0
GEANT4	0,0132	0,0046	781,3

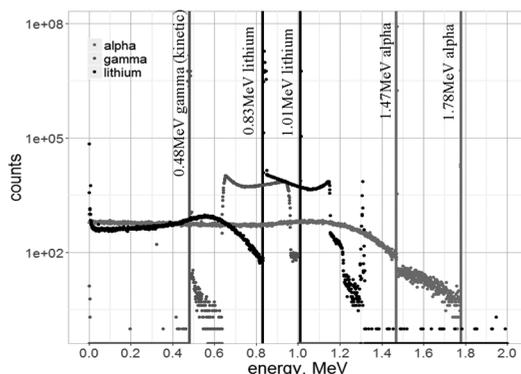


Рисунок 4 – Спектры поглощенных энергий альфа-частиц и ядер лития и кинетических энергий гамма-квантов, полученные с использованием GEANT4

Рассчитанная методом Монте-Карло импульсная чувствительность сцинтилляционного гамма-детектора по изотопу Cs-137 занижена примерно на 10 %. Это обусловлено наличием комптоновского рассеяния от объектов вблизи детектора, которое имеет место при накоплении реального спектра и отсутствует в моделях.

Рассчитанная методом Монте-Карло эффективность регистрации тепловых нейтронов незначительно отличается от заявленной производителем. В модели с источником быстрых нейтронов на фантоме имеется небольшое расхождение между результатами двух кодов.

Метод Монте-Карло позволяет быстро и эффективно прогнозировать характеристики детекторов на самой ранней стадии разработки. Это может в значительной мере снизить себестоимость продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Agostinelli, S.* Geant4 – a simulation toolkit / S. Agostinelli et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section. – 2003. – No. 506. – P. 250.
2. *Allison, J.* Geant4 developments and applications / J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis // IEEE Transactions on Nuclear Science Transactions. – 2006. – No. 53. – P. 270.
3. Nuclear energy agency [Electronic resource]. – URL: <http://www.oecd-nea.org/janisweb/>. (date of access: 25.02.2019).
4. *Yehuda-Zada, Y.* Monte Carlo Simulation for Optimizing ⁶LiF:ZnS(Ag) based Neutron Detector Configuration / Y. Yehuda-Zada [et al.] // 27. Conference of the Nuclear Societies in Israel. Program and Papers, 2014 – Israel, 2014. – P. 268–271.
5. American National Standard Performance Criteria for Backpack-Based Radiation-Detection Systems Used for Homeland Security N42.53-2013 / Accredited by the American National Standards Institute – USA, 2013.

РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ БЕСХОЗЯЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

RADIATION INVESTIGATION OF OWNERLESS IONIZING RADIATION SOURCE

И. В. Жук, К. В. Гусак, М. В. Конопелько

I. Zhuk, K. Husak, M. Kanapelka

Объединенный институт энергетических и ядерных исследований –
Сосны Национальной академии наук Беларуси,
Минский р-н, Республика Беларусь
lab13@sosny.bas-net.by

Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk region, Republic of Belarus

При обнаружении источников ионизирующего излучения для размещения на долговременное хранение необходимо проведение полного радиационного обследования таких источников. Работы по идентификации