

Также очень важны особенности объекта такие как: оснащенность техническими и инженерными средствами, протяженность объекта, расположение предмета защиты и т.д. В итоге создается единый комплекс системы защиты объекта.

Для того чтобы можно было легко осуществить оценку защищенности объекта был создан программный продукт, в котором инженерные и технические средства объединены в единую систему. Одним из способов оценки эффективности систем безопасности является применение компьютерных методов, где моделируется исследуемый объект и составляющие системы безопасности. Существующие в настоящее время программные продукты и методики не позволяют прорабатывать большое количество предполагаемых маршрутов нарушителя, поэтому в работе была исследована методика применения элементов теории графов при описании территории промышленного объекта и элементов системы безопасности, а также моделирования движения нарушителя в такой системе.

Для отработки алгоритмов поиска пути была разработана программная среда, где моделируется сам промышленный объект – территория, расположение зданий, предмета защиты и т.д., а также система безопасности – элементы инженерных и технических средств.

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. Гарсия М. Проектирование и оценка систем физической защиты. – М: Мир: Издательство АСТ, 2002. – 392с.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-КВАНТОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ГЕРМАНИЕВЫМ ДЕТЕКТОРОМ**

Е.А. Маренкова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: eam33@tpu.ru

#### **RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF GAMMA-RAY REGISTRATION WITH A SEMICONDUCTOR GERMANIUM DETECTOR**

E. Marenkova

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** The object of the study is the efficiency of detecting gamma rays with a semiconductor detector Canberra GC1518. The purpose of the work is to determine the change in the efficiency of gamma-ray registration by a coaxial germanium Canberra GC1518 detector in time and to develop a methodology for assessing changes in registration efficiency associated with an increase in the thickness of the dead layer of a semiconductor crystal. As a result of the study, a change in the efficiency of detecting gamma rays by a semiconductor detector in the period from 2016 to 2020 was established, a methodology for assessing the effectiveness of detecting gamma rays by a detector was developed.*

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. Деграция рабочих характеристик оказывает влияние на качество результатов измерений [1].

О толщине «мертвого» слоя можно судить по степени поглощения гамма-квантов различных энергий кристаллом детектора [2]. Эксперимент содержит две части измерений стандартных образцов, отличающихся живым временем и количеством измерений каждого из образцов, геометриями 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. Наибольшее уменьшение эффективности регистрации гамма-квантов отмечено для области низких энергий (до 300 кэВ). Теоретическая эффективность регистрации в максимуме составляет порядка 25,5 % в энергии 130 кэВ. Из практически полученных значений наиболее близко расположена точка 131 кэВ с эффективностью  $(23,85 \pm 0,42) \%$ . Таким образом, изменение в максимуме составляет 1,23–2,07 %. 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 исключения 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. – М.: МИФИ, 2007. – 276 с.
2. Райлли Д., Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов. – М.: БИНОМ, 2000. – 436 с.