

УДК 531:535

МОДЕЛИРОВАНИЕ АППАРАТУРНЫХ СПЕКТРОВ CdZnTe-ДЕТЕКТОРА

Д. т. н. В. А. Мокрицкий, д. т. н. О. В. Маслов

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

maslov@onu.ua, mokrickiy@mail.ru

Описан алгоритм, в котором аппаратурный спектр с большим количеством линий представляется в виде линейной комбинации моделей моноэнергетических спектров с учетом особенностей CdZnTe-детекторов. Аппаратурный спектр моноэнергетического гамма-излучения состоит из трех основных компонент – пика полного поглощения, пика вылета и непрерывного распределения в левой части за счет комптоновского рассеяния.

Ключевые слова: CdZnTe, гамма-излучение, спектрометр гамма-излучения, аппаратурный спектр.

Реализация цифровой коррекции энергетической зависимости чувствительности в дозиметре гамма излучения с CdZnTe-детектором включает этап практической отладки алгоритмов, в том числе, с использованием эталонных источников высокой активности. При этом проведение измерений с несколькими источниками излучения практически невозможно. Поэтому была разработана методика моделирования аппаратурных спектров, измеренных CdZnTe-детектором. Это значительно сократило разработку аппаратной и программной составляющих дозиметра.

Аппаратурный спектр имеет сложный характер из-за особенностей регистрации гамма-излучения, существуют как естественные, так и технологические ограничения того, насколько точно детектирующая система может зарегистрировать энергию гамма-излучения. При разработке методики использовано утверждение, что изменениям условий измерений соответствуют линейные необратимые преобразования пространства аппаратурных спектров, и спектр при произвольных условиях измерений может быть представлен в виде

$$\varphi(a) = \sum \alpha_i \varphi_i(a), \quad \sum \alpha_i = 1, \quad (1)$$

где $\varphi_i(a)$ – линейно независимые спектры i -го компонента.

Методика моделирования аппаратурных спектров основана на следующих процедурах.

1. Спектр изотопов с большим количеством линий представляется в виде линейной комбинации моноэнергетических спектров с учетом квантового выхода в геометрии "узкого пучка"; самопоглощение не учитывается.

2. Имитируется изменение моноэнергетического спектра за счет взаимодействия с материалом окружающей среды.

3. Первая и вторая процедуры используются для формирования аппаратурных спектров смеси изотопов.

Аппаратурный спектр моноэнергетического гамма-излучения в геометрии "узкого пучка" состоит из трех основных компонент – пика полного поглощения, пика вылета и непрерывного распределения в левой части за счет комптоновского рассеяния.

Существует несколько методик моделирования аппаратных спектров гамма-излучения при регистрации CdZnTe-детекторами. Особенность детектора состоит в том, что аналитическое представление пика полного поглощения не является простым гауссианом. Особенность методики состоит в том, что не использовалось моделирование распределения напряженности электрического поля в объеме детектора и не применялся метод Монте-Карло для моделирования электрического заряда, индуцированного при первичном взаимодействии гамма-излучения с материалом детектора. Кроме того, моделируется пик вылета.

Особенность моделирования для CdZnTe-детектора состоит в учете "затягивания" левой половины пика полного поглощения за счет вклада более медленной "дырочной" составляющей, а также в

использовании параметров, получаемых экспериментальным путем. При моделировании спектра использовали аналитическое представление пика полного поглощения:

$$n(E_i) = n_0 \exp\left[-\frac{(E_i - E_0)^2}{2\sigma^2}\right] + n_0 F_i(E_i), \quad (2)$$

где $F_i(E_i) = (A \exp[B(E_i - E_0)]) \left(1 - \exp\left[-\frac{C(E_i - E_0)^2}{2\sigma^2}\right]\right) \delta$ – функция, описывающая левый “хвост”

пика полного поглощения, образованный за счет более позднего собирания заряда дырками; $n(E_i)$ – число отсчетов в канале, соответствующее энергии гамма-квантов E_i ; n_0 – амплитуда пика; E_0 – центроида пика; σ^2 – дисперсия распределения Гаусса, A – параметр, определяющий амплитуду F_i ; B – параметр, определяющий спад функции F_i ; C – параметр, определяющий “отсечку” функции F_i ; $\delta=1$ при $E_i < E_0$ и $\delta=0$ при $E_i > E_0$. Пик вылета описывается распределением, аналогичным первому слагаемому уравнения (2). Зависимости значения параметров A и B от энергии регистрируемого излучения получены при лабораторных исследованиях с образцовыми источниками. Значение параметра C , определяющего “отсечку” функции F_i , равно 0,7 для большого набора исследованных детекторов.

Для моноэнергетичного гамма-излучения вычисляется максимальная энергия E комптоновского электрона, а затем методом Монте-Карло строится модель комптоновского распределения $\mu(E, E_i)$.

Тогда дифференциальный энергетический спектр $d\phi(E)/dE$ имеет вид

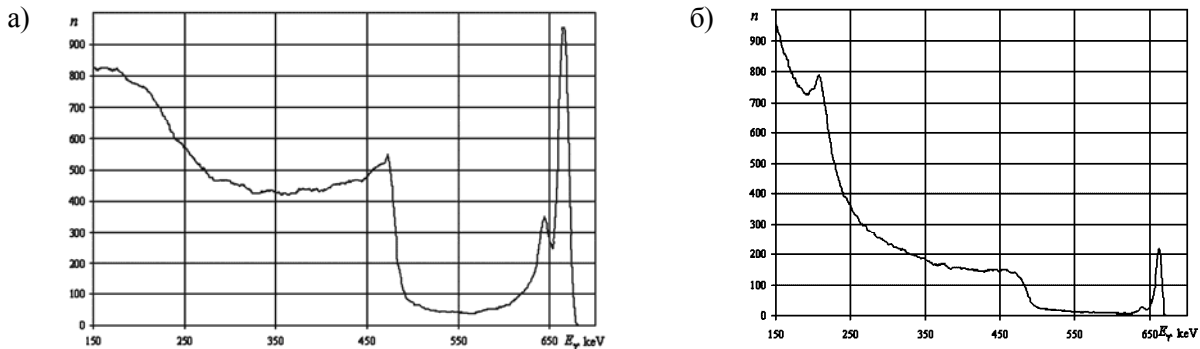
$$d\phi(E)/dE = \sum_{i=1}^M [n_i(E) + n_{esc}(E) + \mu(E, E_i)], \quad (3)$$

где M – число гамма-линий в схеме распада исследуемого изотопа.

Экспериментальный спектр $S_s(E)$ имеет дискретный характер, поэтому он преобразуется в дискретный вид с заданным энергетическим окном ΔE :

$$\phi(E) = (d\phi(E)/dE)\Delta E. \quad (4)$$

Для сравнения на рисунке представлена модель и измеренный спектр излучения изотопа ^{137}Cs . Характерной особенностью модели является более выраженный пик максимальной энергии комптоновских электронов. Кроме того, на измеренном спектре следует отметить пик в области 210 кэВ и пики в области рентгеновского излучения из-за комптоновского рассеивания в материалах, окружающих детектор.



Модель (а) и измеренный аппаратурный спектр точечного источника ^{137}Cs (б)

На основе разработанной методики и экспериментально определенных характеристик спектрометра было проведено моделирование аппаратурных спектров при различных условиях измерений с последующей обработкой полученных модельных спектров.

V. A. Mokritsky, O. V. Maslov

Modeling of pulse height spectra of CdZnTe-detectors

The algorithm, in which the pulse height spectra with a large number of lines is represented as a linear combination of models of mono-energetic spectra taking into account features of CdZnTe detectors. Pulse height spectra of mono-energetic gamma-ray consist of three main components – the total absorption peak, peak departure and continuous distribution on the left side due to Compton scattering.

Keywords: *CdZnTe, pulse height spectra spectrum, gamma-ray spectrometry.*