

Градуировка сцинтилляционного спектрометра гамма-излучений с применением метода математического моделирования

Д.В. Арефьева¹, В.Б. Фирсанов¹, Д.Д. Куруч¹, Р.Е. Брюхов², В.А. Тарита³

¹ Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия

² Научно-технический центр «РАДЭК», Санкт-Петербург, Россия

³ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

В статье описан метод градуировки спектрометра гамма-излучений с применением программы имитационного трехмерного моделирования процессов переноса и регистрации ионизирующих излучений. Метод на примере градуировки, проведенной на счетном образце в виде плоского источника (фильтр АФА-РМП20), предоставляет возможность определения активности с применением спектрометрического оборудования на основе неорганических сцинтилляционных кристаллов. Предложен способ параметрической оценки идентичности расчетного и экспериментального спектра на основе критерия согласия Пирсона. Проведены сличительные испытания. Представлены результаты апробации предложенного метода, показывающие, что различие результатов измерений активности исследуемых образцов радионуклидов на основе полученной градуировки по сравнению с результатами измерений активности, выполненных с помощью калиброванного спектрометра на базе полупроводникового детектора, не превышает 20%.

Ключевые слова: спектрометр гамма-излучений, математическое моделирование, аналитический фильтр, активность радионуклида.

Введение

Работа с открытыми источниками ионизирующих излучений (ИИИ) представляет собой особый вид радиационно опасных работ и связана с рисками поступления радионуклидов в организм человека. Система обеспечения радиационной безопасности в ходе проведения таких работ включает в себя организационные и технические мероприятия, направленные на получение достоверных сведений о контролируемых уровнях вредного и (или) опасного производственного фактора радиационной природы с целью подтверждения соблюдения требований нормативных документов. Также, согласно Методическим указаниям МУ 2.6.1.065-2014 «Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования», одним из методов контроля профессионального внутреннего облучения является дозиметрический контроль рабочих мест, важную роль при осуществлении которого играет определение радионуклидного состава и активность каждого радионуклида в образцах, таких как пробы воздуха и снимаемого радиоактивного загрязнения поверхностей.

Определение активности в образце конкретного гамма-излучающего радионуклида в настоящее время проводится с применением спектрометров с полупроводниковыми и сцинтилляционными детекторами. Существующее оборудование на основе полупроводниковых детекторов (ППД) имеет хорошую эффективность регистрации и разрешающую способность, но отличается высокой стоимостью и сложным техническим обслуживанием. При проведении рутинных инструментальных исследований с заранее известным нуклидным составом образцов нет необходимости использовать такое сложное и дорогостоящее оборудование. Данная задача может быть решена путем использования менее дорогостоящего спектрометрического оборудования на основе неорганических сцинтилляционных кристаллов при оптимальном сочетании как приборных методов градуировки спектрометра, так и методов математического моделирования с применением метода Монте-Карло, его основных спектрометрических характеристик. Под градуировкой спектрометра гамма-излучений подразумевают получение зависимости эффективности регистрации гамма-излучения в пике полного поглощения (ППП), при условии 100% выхода гамма-квантов на распад, от энергии излучения.

Арефьева Дарья Владимировна

Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины

Адрес для переписки: 196143, Санкт-Петербург, проспект Юрия Гагарина, д. 65; E-mail: niipmm.210@gmail.com

Применение метода Монте-Карло для градуировки сцинтилляционных спектрометров неоднократно использовалось в исследованиях многих как отечественных, так и зарубежных ученых. Так, например, в работе [1] проведено моделирование методом Монте-Карло системы двух детекторов NaI(Tl) с использованием программного обеспечения MCNP (Monte-Carlo N-Particle Transport) версии 4C. Полученное соотношение между значениями эффективности регистрации гамма-излучения, полученных методом Монте-Карло, и экспериментальными значениями эффективности показало, что программа MCNP4C может быть успешно использована для моделирования функций отклика этих двух сцинтилляционных детекторов NaI(Tl). В работе [2] проводилась оптимизация метрологических параметров спектрометра излучений человека СКГ-АТ1316А путем математического моделирования методом Монте-Карло процесса переноса гамма-излучения с использованием программного обеспечения MCNP версии 4В в геометриях измерения спектрометра и расчета аппаратных спектров в заданных геометриях измерения для фантома легких взрослого человека с различными инкорпорированными радионуклидами.

Авторами данной статьи в своем исследовании предлагается способ сравнения экспериментальных и смоделированных спектров с помощью критерия χ^2 , в котором спектры сравниваются не только в пиках полного поглощения, но и в областях комптоновского рассеивания, и в области многократного рассеяния.

В настоящее время существует несколько программных продуктов, позволяющих моделировать системы переноса излучения с помощью метода Монте-Карло, их сравнительная характеристика приведена во многих научных публикациях [3–6]. Авторами в своих исследованиях использовалось программное обеспечение MСС 3D (Monte-Carlo Calculations 3D) [7]. MСС 3D – программа имитационного трехмерного моделирования процессов переноса и регистрации ионизирующих излучений. Эта программа позволяет решать задачи по расчету функции отклика детектора исключительно на базе развитого графического интерфейса (без использования программирования на алгоритмических языках). В частности, в ней реализована возможность создавать подробную сложную геометрическую модель разрабатываемого устройства детектирования, проводить расчеты и получать результаты расчетов в необходимой форме.

Цель исследования – разработка метода градуировки спектрометра гамма-излучений с применением программы имитационного трехмерного моделирования процессов переноса и регистрации ионизирующих излучений.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- разработка имитационной модели измерительного комплекса, включающей модель спектрометра гамма-излучений и модель позиционирующего устройства с моделью аналитического фильтра;

- оценка идентичности экспериментальных и смоделированных спектров;

- расчет зависимости эффективности регистрации от энергии гамма-излучения с использованием смоделированных аппаратных спектров единичной активности.

Материалы и методы

Градуировку спектрометра гамма-излучений осуществляли с применением программы MСС 3D, позволяющей проводить симуляцию прохождения излучения через вещество методом Монте-Карло. Моделирование аппаратного спектра выполняли с применением программы для визуализации и обработки расчетных спектров MCA (MultiChannel Analyzer), входящей в пакет MСС 3D.

Объектом исследования являлся спектрометр гамма-излучений МКГБ-01 «РАДЭК» (Россия). Спектрометр состоит из одного блока детектирования на основе сцинтилляционного кристалла NaI(Tl) с диаметром 80 мм и высотой 80 мм, а также низкофоновой защитной камеры (рис. 1). Экспериментальные исследования проводили с набором объемных источников специального назначения с радионуклидами ^{241}Am , ^{152}Eu , ^{60}Co и ^{137}Cs , равномерно нанесенными на рабочую поверхность аналитических фильтров АФА-РСП-20. С радионуклидами ^{60}Co и ^{137}Cs были проведены серии из 6 измерений.

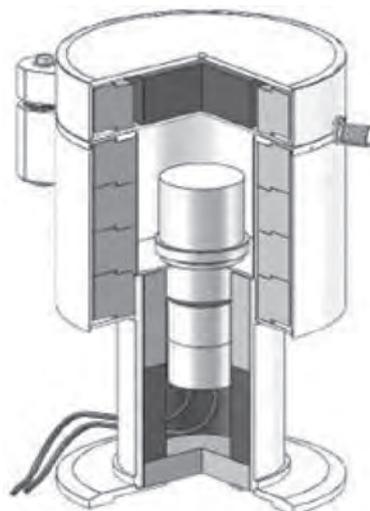


Рис. 1. Схематическое изображение спектрометра МКГБ-01 «РАДЭК» в разрезе
[Fig. 1. The sectional view of the spectrometer MKGB-01 «RADEK»]

Результаты и обсуждение

Для математического моделирования процесса измерения гамма-излучающих радионуклидов в образце (фильтре) с применением программного обеспечения MСС 3D¹ разработана имитационная модель измерительного комплекса, включающая модель спектрометра МКГБ-01 «РАДЭК» (Россия) – камера фоновой защиты с блоком детектирования, а также модель позиционирующего устройства с имитатором аналитического фильтра (рис. 2). Модель сцин-

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008615088 «Программа для имитационного трехмерного моделирования систем детектирования и регистрации ионизирующих излучений MСС 3D», 2008. [Certificate of state registration of a computer program No. 2008615088 «Program for simulation of three-dimensional modeling of systems for the detection and registration of ionizing radiation MСС 3D». 2008. (In Russ.)]

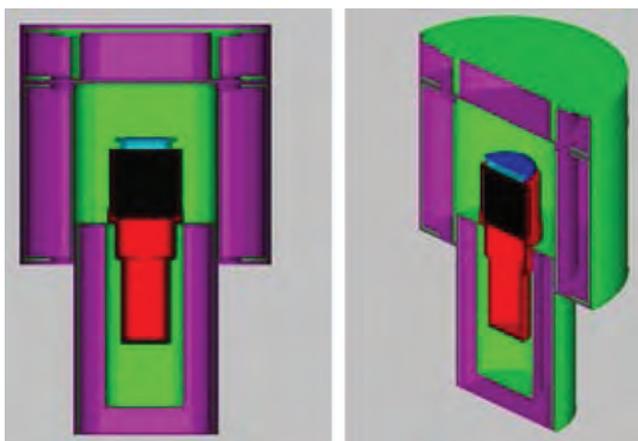


Рис. 2. Имитационная модель измерительного комплекса (низкофоновая защита – сиреневый, кристалл – черный, корпус детектора – красный, позиционирующее устройство с фильтром – голубой)

[Fig. 2. The simulation model of a measuring complex (low-background shield – lilac, crystal – black, detection block – red, positioning device with a filter – blue)]

тилляционного блока детектирования на основе кристалла NaI(Tl) смоделирована с учетом спектрометрических параметров и геометрических размеров составляющих частей на основании Технических условий².

В результате моделирования процесса переноса гамма-излучения в геометрии измерения спектрометра МКГБ-01 «РАДЭК» (Россия) и фильтра совместно с позиционирующим устройством с учетом энергетической цены деления канала и энергетического разрешения получены функции отклика спектрометра в виде аппаратурных спектров. Так как процесс моделирования является статистическим, было смоделировано по 6 аппаратурных спектров радионуклидов ⁶⁰Со и ¹³⁷Сs. На рисунках 3, 4 представлены один из экспериментальных спектров и один из смоделированных спектров, приведенные к единице времени и единице активности этих радионуклидов.

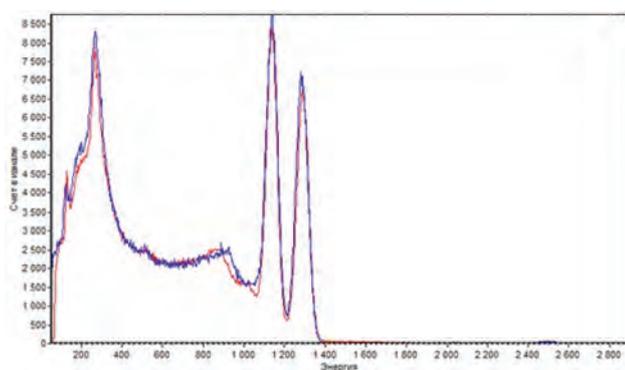


Рис. 3. Экспериментальный за вычетом фона (красный) и смоделированный (синий) спектры гамма-излучения радионуклида ⁶⁰Со

[Fig. 3. The experimental (red) and simulated (blue) gamma-ray spectra of the radionuclide ⁶⁰Со with the subtracted background]

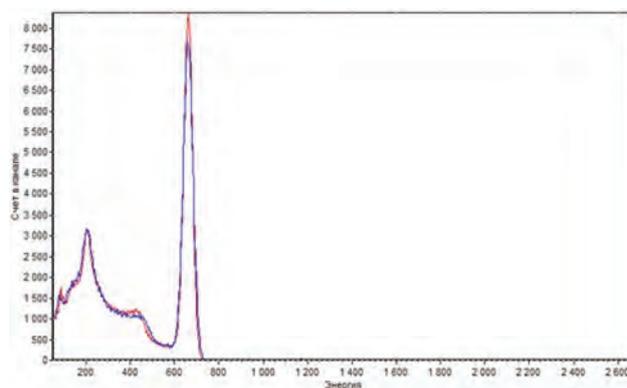


Рис. 4. Экспериментальный за вычетом фона (красный) и смоделированный (синий) спектры гамма-излучения радионуклида ¹³⁷Сs

[Fig. 4. The experimental (red) and simulated (blue) gamma-ray spectra of the radionuclide ¹³⁷Сs with the subtracted background]

Сравнение измеренных и смоделированных спектров проводили в следующих энергетических интервалах:

- интервал, соответствующий ППП для гамма-линий энергии 1173,2 кэВ и 1332,5 кэВ для радионуклида ⁶⁰Со и ППП для гамма-линии энергии 661,7 кэВ для радионуклида ¹³⁷Сs;

- интервалы, отвечающие комптоновскому рассеянию в диапазоне углов 30-60°, 60-90° и 90-180° (для радионуклида ⁶⁰Со рассматривалась средняя энергия гамма-излучения, равная 1252,9 кэВ);

- интервал, соответствующий многократному рассеянию с энергией выше 100 кэВ.

С этой целью для каждого *i*-го измерения (спектра) для каждого выбранного интервала рассчитывали отношение K_{spi} скоростей счета от экспериментальных спектров за вычетом фона и смоделированных спектров для каждого радионуклида по формуле:

$$K_{spi} = \frac{n_{i\alpha} - \bar{n}_\phi}{n_{im}} \cdot \frac{A_m}{A_\alpha}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

где $m = 12$ – число измерений (спектров),

A_α – активность радионуклида, расп./с (Бк),

$A_m = 1 \cdot 10^7$ – число реализуемых событий при моделировании, расп./с,

$n_{i\alpha}, n_{im}$ – скорости счета от экспериментального и смоделированного спектра соответственно, имп/с,

\bar{n}_ϕ – средняя, по результатам пяти измерений, скорость счета фона, имп/с.

По формуле (2) рассчитывали среднее значение \bar{K}_{sp} :

$$\bar{K}_{sp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m K_{spi}, \quad (2)$$

В таблице 1 приведены результаты сравнения экспериментальных и смоделированных спектров в каждом энергетическом интервале.

Результаты расчета коэффициентов K_{spi} и \bar{K}_{sp} , представленные в таблице 1, показывают, что различие спек-

² ТУ 2651-001-26083472-2015. Детекторы ионизирующих излучений сцинтилляционные на основе кристаллов натрия йодистого, активированного таллием. Усолье-Сибирское: ОАО «Кристалл», 2015. 10 с. [ТУ 2651-001-26083472-2015. Scintillation ionizing radiation detectors based on thallium activated sodium iodide crystals. Usolye-Sibirskoe: OJSC «Crystal»; 2015: 10. (In Russ.)]

Сравнение экспериментальных и смоделированных спектров радионуклидов ^{60}Co и ^{137}Cs

Таблица 1

The comparison of the experimental and simulated spectra of ^{60}Co and ^{137}Cs radionuclides

[Table 1]

Номер измерения [Measurement number]	Значение коэффициента $K_{\text{рп}}$ в энергетическом интервале, отн. ед. [The value of the coefficient $K_{\text{рп}}$ in the energy intervals, rel. units]				
	пик полного поглощения [total absorption peak]	30–60°	60–90°	90–180°	многократное рассеяние [multiply scattering]
^{60}Co					
1	0,924	1,009	0,998	0,938	0,919
2	0,927	1,014	0,990	0,936	0,911
3	0,923	1,012	0,998	0,941	0,912
4	0,929	1,010	0,995	0,945	0,920
5	0,930	1,018	0,990	0,943	0,922
6	0,930	1,014	0,995	0,945	0,922
^{137}Cs					
7	1,004	0,947	1,046	0,990	0,945
8	1,001	0,960	1,055	0,981	0,933
9	1,001	0,965	1,050	0,981	0,936
10	1,002	0,952	1,050	0,983	0,940
11	1,004	0,950	1,048	0,986	0,940
12	1,002	0,963	1,052	0,986	0,945
$\overline{K_{\text{сп}}}$, отн. ед. [$\overline{K_{\text{сп}}}$, rel. units]	0,965	0,985	1,022	0,963	0,929

тров не превышает 9%. Это обстоятельство указывает на возможность идентичности спектров. Проверку этого предположения проводили для каждого энергетического интервала, используя критерий согласия Пирсона χ^2 [8], по формулам:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(G - K_{\text{сп}i})^2}{\sigma^2} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{\overline{K_{\text{сп}}}}{100} \sqrt{S^2(\overline{K_{\text{сп}}}) + S^2(A)} \quad (4)$$

$$S(\overline{K_{\text{сп}}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (K_{\text{сп}i} - \overline{K_{\text{сп}}})^2}{m-1}} \quad (5)$$

где $S(\overline{K_{\text{сп}}})$ – среднее квадратичное отклонение результата расчета коэффициента $\overline{K_{\text{сп}}}$,

$S(A) = 6\%$ – погрешность аттестации активности ($P=0,95$) радионуклидов ^{60}Co и ^{137}Cs в объемном источнике специального назначения,

G – гипотетическое значение $\overline{K_{\text{сп}}}$, предполагаемое равным 1,00.

Результаты расчета значений коэффициента χ^2 для каждого энергетического интервала представлены в таблице 2.

Результаты расчета коэффициента χ^2 в выбранных энергетических интервалах

Таблица 2

[Table 2]

The results of the coefficient χ^2 calculations in the selected energy intervals

Энергетический интервал [Energy interval]	Значение коэффициента χ^2 в энергетическом интервале, отн. ед. [The value of the coefficient χ^2 in the energy interval, rel. units]
Пик полного поглощения [Total absorption peak]	6,67
30–60°	2,94
60–90°	3,31
90–180°	5,82
Многократное рассеяние [Multiply scattering]	19,34

По таблице критических значений распределения χ^2 [8] определено, что для числа степеней свободы $\nu = 2m - 1$ и уровня значимости 0,05 критическое значение составляет 35,2. Из данных таблицы 2 следует, что максимальное значение χ^2 составляет 19,34 для энергетического интервала, отвечающего многократному рассеянию, что говорит о приемлемости гипотезы об идентичности экспериментальных и смоделированных спектров.

Значения коэффициентов Стьюдента определяли по таблице [8] при числе степеней свободы ν . Ошибку (ΔG) величины G рассчитывали по формулам:

$$\Delta G = t \cdot \varepsilon \quad (6)$$

где $t=1,714$ – значение коэффициента Стьюдента для вероятности 0,90.

$$\varepsilon = \sqrt{S^2(\overline{K_{cp}}) + S^2(A)} \quad (7)$$

где $S^2(\overline{K_{cp}})$, $S^2(A)$ – см. формулу (4).

Результаты расчетов величины ΔG для каждого выбранного энергетического интервала представлены в таблице 3.

Таким образом, смоделированный спектр гамма-излучения идентичен экспериментальному в пределах 12,5% при вероятности $P = 0,90$.

Для примера на рисунках 5, 6 представлены экспериментальные и смоделированные спектры радионуклидов ^{241}Am , ^{152}Eu , приведенные к единице времени и единице активности. Отклонения спектров в энергетическом интервале 50–2000 кэВ для радионуклида ^{152}Eu и в пике полного поглощения для радионуклида ^{241}Am составляют

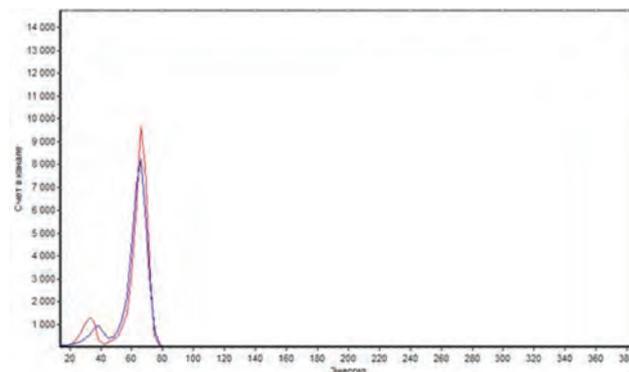


Рис. 6. Экспериментальный за вычетом фона (красный) и смоделированный (синий) спектры гамма-излучения радионуклида ^{241}Am

[Fig. 6. The experimental (red) and simulated (blue) gamma-ray spectra of the radionuclide ^{241}Am with the subtracted background]

11% и 2,5% соответственно, что также подтверждает гипотезу идентичности экспериментальных и смоделированных спектров.

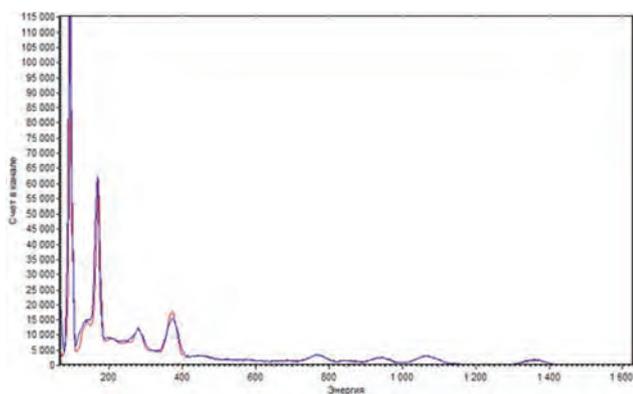


Рис. 5. Экспериментальный за вычетом фона (красный) и смоделированный (синий) спектры гамма-излучения радионуклида ^{152}Eu

[Fig. 5. The experimental (red) and simulated (blue) gamma-ray spectra of the radionuclide ^{152}Eu with the subtracted background]

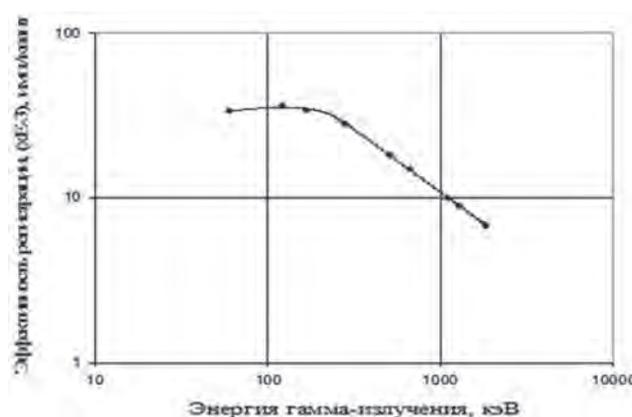


Рис. 7. Зависимость эффективности регистрации для геометрии измерения «фильтр» от энергии гамма-излучения [Fig. 7. The dependence of the registration efficiency for the geometry of the measurement «filter» on the energy of gamma radiation]

Результаты расчета величины ΔG в выбранных энергетических интервалах

Таблица 3

[Table 3

The results of the ΔG calculations in the selected energy intervals]

Параметр [Parameter]	Энергетический интервал [Energy interval]				многократное рассеяние [multiply scattering]
	пик полного поглощения [total absorption peak]	30–60°	60–90°	90–180°	
$\varepsilon, \%$	7,2	6,7	6,7	6,4	6,1
$G, \%$	12,3	11,5	11,5	11,0	10,5

С использованием смоделированных спектров рассчитаны значения эффективности регистрации в энергетическом интервале 50–2000 кэВ (рис. 7).

В качестве примера была рассчитана активность маз-ка, взятого на фильтр с рабочего места сотрудника научно-исследовательского института, работающего с открытыми источниками ионизирующих излучений. Данный образец был измерен на полупроводниковом спектрометре МКГБ-01 «РАДЭК» и исследуемом сцинтилляционном спектрометре МКГБ-01 «РАДЭК». В образце были обнаружены следующие радионуклиды: ^{241}Am , ^{243}Am , ^{239}Np и ^{137}Cs (рис. 8). На рисунке 9 показаны спектры, полученные при последовательном вычитании из исследуемого спектра от образца сначала смоделированного спектра радионуклида ^{137}Cs , затем смоделированного спектра радионуклида ^{239}Np и смоделированного спектра радионуклида ^{243}Am .

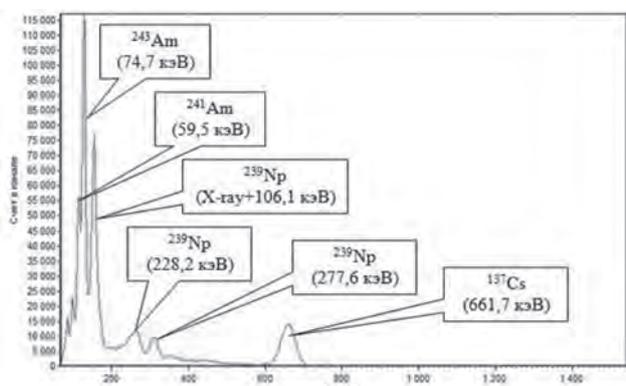


Рис. 8. Спектр от образца, измеренный на спектрометре гамма-излучений МКГБ-01 «РАДЭК»
[Fig. 8. The spectrum of the sample measured on a gamma-ray spectrometer MKGB-01 «RADEK»]

Результаты расчета активности этих радионуклидов в образце приведены в таблице 4.

Таблица 4

Сравнение результатов расчета активности в исследуемом образце

[Table 4

The comparison of the calculated activity in the test sample]

Радионуклид [Radionuclide]	Активность, Бк [Activity, Bq]		Отклонение, % [Deviation, %]
	МКГБ-01 «РАДЭК» ППД [MKGB-01 «RADEK» HPGe]	МКГБ-01 «РАДЭК» NaI(Tl) [MKGB-01 «RADEK» NaI(Tl)]	
^{241}Am	170	138	-18,8
^{243}Am	278	243	-12,6
^{239}Np	286	290	+1,4
^{137}Cs	369	340	-7,9

Согласно представленным в таблице 4 данным, расхождение в результатах расчета активности в образце не превышает 20%, что говорит о возможности применения метода градуировки спектрометра гамма-излучений с использованием программы имитационного трехмерного моделирования процессов переноса и регистрации ионизирующих излучений для обработки измеренных спектров на сцинтилляционном спектрометре.

Заключение

Полученные в настоящей работе результаты дают основание сделать следующие выводы:

1. Разработанная имитационная модель измерительного комплекса, включающая гамма-спектрометр МКГБ-01 «РАДЭК» и позиционирующее устройство с аналитическим

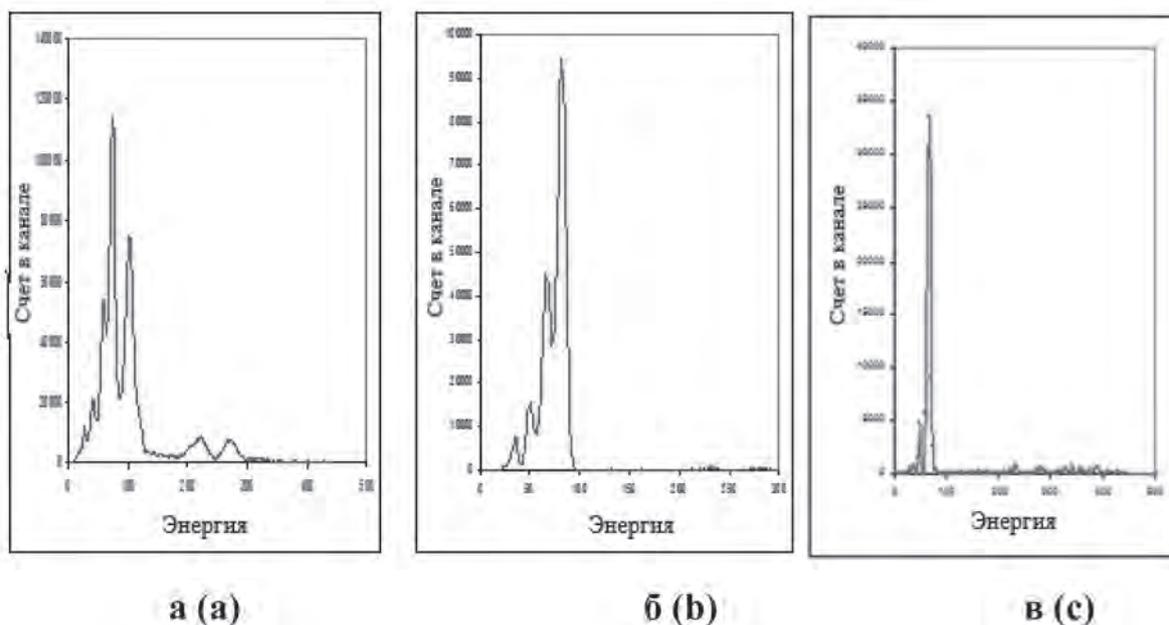


Рис. 9. Спектры от образца после вычитания смоделированных спектров (а – после вычитания ^{137}Cs , б – после вычитания ^{239}Np , в – после вычитания ^{243}Am)
[Fig. 9. The spectra from the sample after subtracting the simulated spectra (a – after subtracting ^{137}Cs , b – after subtracting ^{239}Np , c – after subtracting ^{243}Am)]

фильтром, позволяет моделировать аппаратные спектры гамма-излучения в энергетическом интервале от 50 до 2000 кэВ с погрешностью, не превышающей 12,5%, полученной путем сравнения экспериментальных и смоделированных спектров с применением критерия согласия Пирсона χ^2 .

2. Апробация предложенного метода градуировки сцинтилляционного спектрометра с применением математического моделирования показала, что различия результатов расчета активности исследуемых образцов радионуклидов на основе смоделированных аппаратных спектров не превышают 20% по сравнению с результатами измерений активности, выполненных с помощью спектрометра на базе полупроводникового детектора.

3. Предложенный метод может быть использован для градуировки спектрометров со сцинтилляционными блоками детектирования различных модификаций для различных геометрий измерения.

4. Обработка результатов измерений активности исследуемых образцов с применением рассмотренного в работе метода не применима в том случае, когда предполагается наличие в исследуемом образце неизвестного сложного радионуклидного состава (идентификация радионуклидов в данном случае возможна только с применением гамма-спектрометра с полупроводниковым детектором).

Литература

1. Mouhti I., Elanique A., Messous M.Y. Monte Carlo modelling of a NaI(Tl) scintillator detectors using MCNP simulation code // J. Mater. Environ. Sci. 2017. Vol. 8, Issue 12. P. 4560-4565.

2. Жуковский А.И., Коновалов Е.А., Гузов В.Д., и др. Спектрометр для измерения активности гамма-излучающих радионуклидов в легких взрослого человека. Часть 1. Результаты экспериментальных и теоретических исследований // Приборы и методы измерений. 2013. № 1 (6). С. 29-35.
3. Lépy M.-C., Altitoglou T., Anagnostakis M.J. Intercomparison of methods for coincidence summing corrections in gamma-ray spectrometry // App. Rad. and Is. 2012. Vol. 70. P. 2112-2118.
4. Vidmar T., Caponi M., Hult M. Equivalence of computer codes for calculation of coincidence summing correction factors // App. Rad. and Is. 2014. Vol. 87. P. 336-341.
5. Приц В.В. Оценка влияния параметров проведения рентгенографического исследования на различные дозовые характеристики с помощью программного обеспечения МСС-3D [Текст]: магистр. диссерт. СПб. 2015. 81 с.
6. Tekin H.O. MCNP-X Monte Carlo Code Application for Mass Attenuation Coefficients of Concrete at Different Energies by Modeling 3 x 3 Inch NaI(Tl) Detector and Comparison with XCOM and Monte Carlo Data // Science and Technology of Nuclear Installations. 2016. Vol. 7, No 31. P. 1-7.
7. Багаев К.А., Козловский С.С., Новиков И.Э. Программа для имитационного трехмерного моделирования систем детектирования и регистрации ионизирующих излучений на базе развитого графического интерфейса // АНПИ. 2007. Т. 4. С. 35 – 40.
8. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.

Поступила: 26.05.2020 г.

Арефьева Дарья Владимировна – и.о. заведующего лабораторией № 1, Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства. **Адрес для переписки:** 196143, Санкт-Петербург, проспект Юрия Гагарина, д. 65; E-mail: niipmm.210@gmail.com

Фирсанов Владимир Борисович – инженер-исследователь лаборатории № 1, Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия

Куруч Дмитрий Дмитриевич – кандидат химических наук, инженер-исследователь лаборатории № 1, Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия

Брюхов Роман Евгеньевич – начальник технического отдела, Научно-технический центр «РАДЭК», Санкт-Петербург, Россия

Тарита Вольдемар Андреевич – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий – ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории спектрометрии излучений человека, Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Арефьева Д.В., Фирсанов В.Б., Куруч Д.Д., Брюхов Р.Е., Тарита В.А. Градуировка сцинтилляционного спектрометра гамма-излучений с применением метода математического моделирования // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 4. – С. 93-100. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-4-93-100

Gamma scintillation spectrometer calibration using the method of mathematical modeling

Darya V. Arefyeva¹, Vladimir B. Firsanov¹, Dmitriy D. Kuruch¹, Roman E. Bryukhov², Voldemar A. Tarita³¹ Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical Biological Agency, Saint Petersburg, Russia² Scientific Technical Centre «RADEK», Saint Petersburg, Russia³ Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia

The article describes a method for calibrating a gamma ray spectrometer using a three-dimensional simulation program for the transfer and registration of ionizing radiation. In the example of calibration of plane source counters (filter AFA-RMP20), this method allows one to determine the activity by using spectrometric equipment based on inorganic scintillation crystals. We proposed a method for parametric estimation of the identity of the calculated and experimental spectrum based on the Pearson agreement criterion. We then performed interlaboratory comparisons. The results demonstrate that the difference between measured values of the activity in the test samples of radionuclides using obtained calibration and values measured with a semiconductor based calibrated spectrometer do not exceed 20%.

Key words: gamma-ray spectrometer, mathematical modeling, analytical filter, radionuclide activity

References

- Mouhti I, Elanique A, Messous MY. Monte Carlo modelling of a NaI(Tl) scintillator detectors using MCNP simulation code. *Journal of Materials and Environmental Science*. 2017;8(12): 4560-4565.
- Zhukousky A, Kononov E, Guzov V, Kozhemiakin V, Khrutchinsky A, Kutsen S, et al. Spektrometer for measurement of gamma-emitting nuclides in the human lungs. Part 1. Results of experimental and theoretical researches. *Measuring instruments and methods*. 2013;1(6): 29-35. (In Russian).
- Lépy M-C, Altizoglou T, Anagnostakis MJ. Intercomparison of methods for coincidence summing corrections in gamma-ray spectrometry. *Applied Radiation and Isotopes*. 2012;70(9): 2112–2118.
- Vidmar T, Caponi M, Hult M. Equivalence of computer codes for calculation of coincidence summing correction factors. *Applied Radiation and Isotopes*. 2014;87: 336–341.
- Pric V. Evaluation of the influence of x-ray parameters on various dose characteristics using software MCC-3D [Text]: master's thesis. Saint-Petersburg; 2015: 81. (In Russian).
- Tekin HO. MCNP-X Monte Carlo Code Application for Mass Attenuation Coefficients of Concrete at Different Energies by Modeling 3 × 3 Inch NaI(Tl) Detector and Comparison with XCOM and Monte Carlo Data. *Science and Technology of Nuclear Installations*. 2016;7(31): 1-7.
- Bagaev K, Kozlovski S, Novikov I. A program for three-dimensional simulation of systems for detecting and registering ionizing radiation based on an advanced graphical interface. *ANRI = ANRI*. 2007;4: 35 – 40. (In Russian).
- Kobzar AI. Applied Mathematical Statistics. For engineers and scientists. Moscow: FIZMATLIT. 2006:816. (In Russian).

Received: May 26, 2020

For correspondence: Darya V. Arefyeva – Acting Head of Laboratory No. 1, Research Institute of Industrial and Marine Medicine of the Federal Medical Biological Agency (prospekt Yuriya Gagarina, 65, Saint-Petersburg, 196143, Russia; E-mail: niipmm.210@gmail.com)

Vladimir B. Firsanov – Research Engineer, Laboratory No. 1, Research Institute of Industrial and Marine Medicine of the Federal Medical Biological Agency, Saint-Petersburg, Russia

Dmitriy D. Kuruch – Candidate of Chemical Sciences, Research Engineer of Laboratory No. 1, Research Institute of Industrial and Marine Medicine of Federal Medical Biological Agency, Saint Petersburg, Russia

Roman E. Bryukhov – Head of Technical Department Scientific Technical Centre «RADEK», Saint-Petersburg, Russia

Voldemar A. Tarita – Candidate of medical science, Associate Professor, Head of the Research Laboratory of Human Radiation Spectrometry, Leading Researcher, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Arefyeva D.V., Firsanov V.B., Kuruch D.D., Bryukhov R.E., Tarita V.A. Gamma scintillation spectrometer calibration using the method of mathematical modeling. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020. Vol. 13, No. 4. P. 93-100. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-4-93-100

Darya V. Arefyeva

Research Institute of Industrial and Marine Medicine

Address for correspondence: prospekt Yuriya Gagarina, 65, Saint-Petersburg, 196143, Russia; E-mail: niipmm.210@gmail.com