

Комплекс специализированных гамма-спектрометрических установок для паспортизации радионуклидных источников

Н. Ф. ДЕМЧЕНКО*, Р. А. КУЗНЕЦОВ*, В. И. ШИПИЛОВ*, Н. Н. МОИСЕЕВ**,
И. А. ХАРИТОНОВ**

* Государственный научный центр Научно-исследовательский институт атомных реакторов,
Димитровград, Россия, e-mail: orip@niiar.ru

** Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева,
С.-Петербург, Россия

Рассмотрен комплекс специализированных гамма-спектрометрических установок и исследованы метрологические характеристики аппаратного спектра на реальных источниках ионизирующего излучения.

Ключевые слова: источник ионизирующего излучения, гамма-спектрометрическая установка.

The specialized γ -spectrometry installations complex is considered and the metrological characteristics of the instrument spectrum has been studied on real ionizing sources.

Key words: ionizing radiation source, γ -spectrometry installation.

В России основное производство радионуклидных источников (РИ) сосредоточено в НИИАР и НПО «Маяк». Номенклатура выпускаемых изделий, как правило, индивидуальна для каждого предприятия. НИИАР является производителем промышленных и медицинских источников высокой удельной активности γ -излучения на основе радионуклидов: ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{75}Se , ^{153}Gd , ^{192}Ir и ^{169}Yb и др. [1]. Их активность может достигать десятков тысяч кюри.

Закрытый РИ — активный сердечник (порция радионуклида), помещенный в одну или несколько герметичных металлических оболочек. Конструкция и размеры источника зависят от типа облучательной установки, для комплектации которой они предназначены. Высокая активность источников определяет необходимость применения при их изготовлении сложного защитного оснащения, дистанционного выполнения операций, повышенных мер безопасности производства. Очевидно, что неотъемлемой и обязательной частью производства должны быть средства и методики радиационного контроля с требуемой точностью, что связано с созданием измерительных комплексов для паспортизации таких источников. В настоящей статье описан один из комплексов.

Особенности гамма-спектрометрических измерений

в этом случае состоят: в высоком уровне активности источников, требующем применения техники коллимирования пучка и работы в условиях коллимации гамма-излучения, т. е. большого числа эффектов, искажающих спектр, право- и левоасимметричных пиков (фактор асимметрии может достигать трех) и разброса разрешения 3—6 кэВ; конструктивных особенностях гамма-источников; влиянием шумовых и механических эффектов (вибраций) оборудования защитных камер. Для решения этих задач в НИИАР разработан комплекс гамма-спектрометрических установок, которыми снабжены три защитные исследовательские камеры. Установки отличаются только размерами коллиматора, в остальном они идентичны.

Типовая установка показана на рисунке и представляет комплекс, состоящий из устройств, расположенных в защитной камере 8, а также спектрометра 11, полупроводниково-

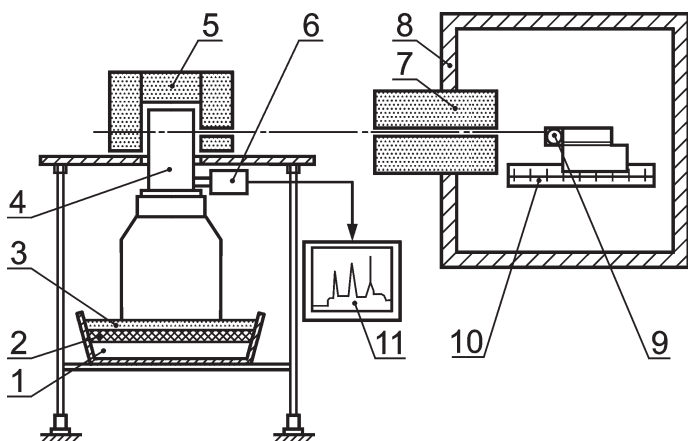


Схема гамма-спектрометрической установки:

1 — слой микропористой резины; 2 — вакуумная резина; 3 — песок; 4 — коаксиальный полупроводниковый Ge (Li)-детектор; 5 — устройство пассивной защиты от внешнего фонового излучения; 6 — линейный предусилитель; 7 — коллиматор; 8 — защитная камера; 9 — источник с держателем; 10 — дистансерное устройство; 11 — комплекс гамма-спектрометрической аппаратуры на основе многоканального амплитудного анализатора импульсов AFORA LP 4900B

го детектора 4 и пассивной защиты от фонового излучения 5, которые вынесены в операторское (лабораторное) помещение. Устройства, расположенные в защитной камере 8, предназначены для крепления источника в точке измерения (источник с держателем 9) и перемещения источника внутри камеры (дистансерное устройство 10). Дистансерное устройство 10 с держателем для источника 9 расположены точно по оси коллиматора 7.

Качественный анализ влияния вибраций в литературе обычно отсутствует. В процессе пусконаладочных работ на указанных установках обнаружено, что влияние вибраций приводит как к расширению спектральных линий в 1,5—2 раза, так и значительному увеличению минимальной детектируемой активности (МДА) в длинноволновой части спектра 0—300 кэВ. Для уменьшения влияния вибраций предложено установить детекторы на виброзащитное основание, конструкция которого разработана в ходе экспериментальных лабораторных исследований и состоит из трех слоев: песка 3 толщиной около 15 мм, вакуумной резины 2 толщиной примерно 5 мм и микропористой прокладочной резины 1 толщиной 10 мм. Применение такого основания устранило расширение спектральных линий и сузило энергетический диапазон шумов до 60 кэВ, т. е. вывело их за пределы диапазона регистрации спектрометра, причем амплитуда шумов уменьшилась приблизительно в десять раз.

При определении активности РИ с погрешностью не более 10 % в условиях коллимации гамма-излучения учитывают условия измерений, не позволяющие применять широко распространенную модель аппроксимации пика полного поглощения [2]. Поэтому был исследован ряд моделей, и в результате разработан алгоритм автоматической обработки гамма-спектров, получаемых в условиях коллимации гамма-излучения.

В основу примененной модели положен принцип разбиения непрерывного спектра на участки, содержащие пики полного поглощения первичного излучения на кусочно-гладком «континууме». Ширина выбираемых участков ограничена условием постоянства энергетического разрешения и не может превышать 90 кэВ.

Анализ погрешностей измерений. Формулы для расчета активности радионуклидов, имеющих сложную схему распада, представлены в методиках, которые разработаны НИИАР и аттестованы во ВНИИМ с применением стандартной процедуры усреднения значений активности, рассчитанных по отдельным гамма-переходам исследуемого источника. В качестве основной составляющей погрешности определения активности принята погрешность аппроксимации калибровочной зависимости абсолютной эффективности регистрации спектрометра от энергии для заданной измерительной геометрии. Эту погрешность можно разделить на погрешность аппроксимации выбранной аналитической кривой

(исследования показывают, что она не превышает 3 %) и погрешность аттестации образцовых мер активности (3—5 %).

Воспроизводимость расстояния источник—детектор характеризует конструкцию дистансерного устройства, содержащего источник с держателем, устройство перемещения источника и отградуированную линейку. Детальное исследование этой характеристики с использованием образцового источника ^{60}Co показало, что для всех трех гамма-спектрометрических установок погрешность составляет 5—6 %.

Измерение активности гамма-спектрометрическим методом с коллиматором также зависит от конструкции источника, т. е. гамма-спектрометр всегда регистрирует только часть излучения источника в ограниченном телесном угле. В случае коллимирующих систем особенно важно, чтобы излучение источника было изотропным, так как при различном положении источника в держателе детектор «просматривает» его разные участки. Поскольку активность источника является интегральной характеристикой, то рассчитанные абсолютные эффективности будут отличаться на некоторые константы при наблюдении под разными углами. При исследованиях источников на основе ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{75}Se , ^{153}Gd и ^{192}Ir эффективности отличались в пределах 3 %, что позволяет сделать вывод о точной юстировке коллимирующей системы.

Установлено, что при доверительной вероятности $P = 0,95$ комплекс спектрометрических установок позволяет измерять активность источников в диапазоне 10^8 — 10^{12} Бк с погрешностью 8 % и определять относительное содержание радионуклидных примесей в источниках с погрешностью 10—13 %. Комплекс обеспечивает паспортизацию источников при серийном производстве РИ. Методика выполнения измерений аттестована, гамма-спектрометрические установки поверены во ВНИИМ.

Закключение. Активность источника — основной параметр, который используют различные фирмы-изготовители и потребители РИ как в России, так и за рубежом. Поэтому очень важно для производителя РИ иметь комплекс методик и средств измерений своей продукции. В НИИАР существует лаборатория (центр) для измерений (паспортизации) РИ, которая имеет аттестат аккредитации РОСС RU. 0001.21 РК42.

Л и т е р а т у р а

1. **Радионуклидные** источники ионизирующего излучения и препараты: Каталог. Димитровград. ГНЦ НИИАР, 2004.
2. **Winter G.** Continuum estimation and peak analysis for in-beam gamma ray spectra // Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. 1987. V. 258. N. 1. P. 119—126.

Дата принятия 18.03.2014 г.