



UA0300555

О МЕТРОЛОГИИ В НЕТРАДИЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

В. В. Бабенко, А. С. Казимиров, А. Ф. Рудык
НПП - "АтомКомплексПрибор". Киев

Для калибровки по эффективности спектрометра используются образцовые меры активности, но дороговизна и затраты, общеизвестные трудности изготовления эталонных источников малой активности, времени на их измерение делают такое решение задачи практически нереальным. Дальнейший поиск компромиссов натолкнул нас на разработку метода экспериментального поиска (определения) реальных МДА и МИА на основе моделирования спектров смеси нуклидов с заданными соотношениями их активностей.

Моделирование спектров осуществляется методом простых арифметических манипуляций с реальными спектрами излучения эталонных источников и фона измерительной установки. Кратко изложим суть метода и некоторые условия его реализации.

Для эталонного источника активностью A_s при измерении в течение времени t_s количество отсчетов в интересующем диапазоне энергий обусловлено суммой полезных N_o и фоновых N_ϕ сигналов, т.е.

$$N(t_s) = N_o(t_s) + N_\phi(t_s) = A_s \varepsilon t_s + n_\phi t_s,$$

где ε - чувствительность (эффективность) спектрометра; n_ϕ - скорость счета фона.

Для измерения фона в течение времени t_ϕ :

$$N(t_\phi) = N_\phi(t_\phi) = n_\phi t_\phi.$$

Будем считать фон постоянным и распределенным по закону Пуассона, тогда n_ϕ будет параметром этого распределения.

После суммирования этих двух спектров получаем какой-то новый спектр с временем измерения $(t_s + t_\phi) = t$:

$$N(t_s + t_\phi) = A_s \varepsilon t_s + n_\phi (t_s + t_\phi).$$

Суммарный спектр адекватен спектру, получаемому при измерении гипотетического источника активностью A^0 с экспозицией $(t_s + t_\phi)$ в условиях, идентичных измерению эталонного источника, т.е.

$$N(t_3 + t_\phi) = A^\circ \varepsilon(t_3 + t_\phi) + n_\phi(t_3 + t_\phi).$$

Тогда активность модельного источника можно рассчитать из выражения

$$A^\circ = t_3 / (t_3 + t_\phi).$$

Располагая эталонными моноисточниками и манипулируя временами измерения t_3 и t_ϕ , можно смоделировать спектры излучения источников практически с любой заданной активностью $A^\circ \leq A_3$, а также спектры наборов радионуклидов с заданными соотношениями их активностей.

Пакет программ АК1 позволяет легко и удобно производить арифметические манипуляции со спектрами и обеспечивает моделирование спектров практически в любом диапазоне активностей гипотетических источников.

При моделировании спектров для поиска МИА предпочтение следует отдавать эталонным источникам, используемым для калибровки по эффективности. В этом случае модельные спектры имеют преимущество даже перед реальными, так как лишены систематической погрешности по активности, присущей разным источникам. К тому же они, как правило, обеспечивают высокую интенсивность счета, что экономит время при практической процедуре поиска МИА.

Используя предлагаемый метод моделирования спектров, можно легко и надежно определять реальные (экспериментально полученные) значения МДА и МИА для различных наборов нуклидов с заданными соотношениями активностей в соответствии с поставленными задачами.

Применительно к бета-спектрометрам НПП "АКП" с пакетом программ АК1 это выглядит следующим образом.

В программном обеспечении АК1 для бета-спектрометрии расчет статистической погрешности при одноразовых измерениях ведется по формуле

$${}^{0.95}d_c X = \frac{2 \sqrt{\sigma_x^2}}{X} 100 [\%],$$

где X — рассчитанная активность j -го нуклида (вектор решения СЛАУ);

σ_x^2 — дисперсия величины X (диагональный элемент ковариационной матрицы погрешностей решения).

Величина ${}^{0.95}d_c X$ визуализируется при обработке спектров. Появление значений ${}^{0.95}d_c X \geq 100\%$ эквивалентно выражению

$$X \leq 2 \sqrt{\sigma_x^2} = 2\sigma_x = A_{\text{МИА}},$$

что свидетельствует о наступлении момента, когда полезный сигнал

измеряемой пробы ниже предела обнаружения для выбранных условий измерения.

Подбором времени измерения образцовых источников (практически это занимало у нас не более десятков секунд) легко моделируются серии спектров, для которых значения $^{0,95}d_x$ будут “осциллировать” вблизи 100 % (поиск МДА) или другого заданного значения (например, 50 % - поиск МИА).

В пакете АК1 для бета-спектрометрии предусмотрен расчет МДА и МИА для одного нуклида по фоновому спектру, т.е. приводятся значения для идеализированных условий измерения. Проверка результатов этих расчетов с помощью модельных спектров мононуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{40}K дала практически идеальное совпадение, что подтверждает пригодность обоих методов для определения МИА и МДА.

Моделируя спектры наборов нуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{40}K с учетом их нормированных значений (ДР-97), можно составить удобные для практического пользования таблицы реального МИА на фоне “мешающих” радионуклидов. Эти таблицы помогут потребителям легко ориентироваться при решении конкретных задач.

Спектр эмиссии электронов из поверхности образца с фиксированными физико-химическими параметрами (диаметр, масса, атомный номер, дисперсность и др.) постоянен и для эталонных объемных источников его можно считать дополнительным метрологическим параметром этого образца.

Для характеристики измерительного комплекса (спектрометр вместе с эталонными источниками в конкретных геометриях измерения) предлагается ввести понятия спектральных коэффициентов ζ_{ij} и спектральных долей Ψ_{ij} радионуклидов (для конкретного набора энергетических интервалов):

$$\zeta_{ij} = \varepsilon_{ij} / \varepsilon_j, \quad \zeta_{i\Sigma} = \varepsilon_{i\Sigma} / \varepsilon_\Sigma, \quad \Psi_{ij} = \varepsilon_{ij} / \varepsilon_\Sigma,$$

где ε_{ij} – чувствительность спектрометра в i -м ЭИ для j -го радионуклида; $\varepsilon_j = \sum_i \varepsilon_{ij}$ – суммарная чувствительность в диапазоне регистрации для j -го нуклида; $\varepsilon_{i\Sigma}$ – чувствительность спектрометра в i -м ЭИ для смеси равновесных нуклидов (например, $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$); $\varepsilon_\Sigma = \sum_i \varepsilon_{i\Sigma}$ – суммарная чувствительность в диапазоне регистрации для смеси равновесных нуклидов.

Очевидно, что для равновесных источников (например, $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$)

$$\psi_{iSr} + \psi_{iY} = 1.$$

Полученные на разных спектрометрах одного типа с помощью конкретных эталонных образцов одинаковой толщины ($\text{г}/\text{см}^2$) величины ψ_{ij} и ζ_{ij} должны отличаться только в пределах статистических погрешностей.

Необходимо заметить, что эти спектральные коэффициенты для проб мононуклидов (или смеси равновесных нуклидов) однозначно характеризуют форму их бета-спектра. Они являются своего рода аналогом пиков в линейчатых спектрах.

На основе спектральных коэффициентов и долей нами разработан метод упрощенной калибровки спектрометра по чувствительности для измерения неравновесного ^{90}Sr в свежем молоке. Суть его в следующем

С помощью эталонного равновесного источника $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, используемого для калибровки по чувствительности, производится тестирование спектрометра: коэффициенты $\zeta_{i\Sigma}$ в пределах погрешностей должны совпадать с опорными, полученными на образцовом спектрометре. Тогда калибровка спектрометра заключается в расчете чувствительностей для ^{90}Sr и ^{90}Y из чувствительности спектрометра для равновесного эталонного источника $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ согласно выражений:

$$\varepsilon_{iy} = \varepsilon_{i\Sigma} \psi_{iy}; \quad \varepsilon_{iSr} = \varepsilon_{i\Sigma} - \varepsilon_{iy} = \varepsilon_{i\Sigma} (1 - \psi_{iy}).$$

где ψ_{iy} – опорные спектральные доли, полученные на образцовом спектрометре с помощью радиохимического разделения нуклидов.

Таким образом, с помощью одного эталонного равновесного источника $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ можно довольно быстро и легко прокалибровать любое количество однотипных спектрометров, не прибегая к громоздкой и дорогостоящей радиохимии.

В заключение отметим, что бета-спектрометры типа СЕБ-01.ХХ предназначены для определения активности ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{40}K и других бета-излучающих радионуклидов в счетных образцах (приготовленных из проб продуктов питания и объектов внешней среды) различной конфигурации: от “тонких” после радиохимии или типа аспирационных фильтров АФА РСР до “толстых” массой 160 г на площадь 170 см^2 , включая и точечную геометрию для анализа “горячих” частиц.

Диапазон измерения активности радионуклидов охватывает $0,1 - 10^4$ Бк и позволяет инструментально контролировать основную часть продуктов питания согласно ДР-97, а при использовании необходимых условий концентрирования также объекты внешней среды (воду, воздух и др.) согласно НРБУ-99, в том числе по содержанию ^{90}Sr и ^{90}Y с нарушением их

радиоактивного равновесия.

Предлагаемый метод моделирования спектров и основанная на нем методика поиска действительных МДА и МИА позволяют;

просто и надежно исследовать возможности конкретного измерительного прибора или методики определения активности в широком диапазоне значений;

на основе исследованных возможностей грамотно и рационально планировать работу измерительных установок;

находить оптимальное время измерения определенного типа проб с целью бронирования продукции согласно допустимых уровней активности;

совместно с методикой расчета чувствительностей вывести метрологическое обеспечение бета-спектрометрии на качественно новый уровень, существенно упростив и удешёвив его.

Знание надежных пределов обнаружения и измерения активностей позволит получать достоверные результаты и на их основе принимать ответственные решения, часто влекущие за собой серьезные экономические последствия.