ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

СПЕКТРОМЕТРЫ ЭНЕРГИЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

ГОСТ 26874—86

(СТ СЭВ 5053—85)

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

УДК 539.1.074.083 : 006.354 Группа Ф23

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

СПЕКТРОМЕТРЫ ЭНЕРГИЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Методы измерения основных параметров

Ionizing radiation power spectrometers. Methods of basic parameters measurement

ГОСТ 26874—86

(СТ СЭВ 5053—85)

ОКП 43 6231

Дата введения 01.01.87

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на спектрометры энергии альфа-, гамма- и рентгеновского излучений с полупроводниковыми и сцинтилляционными детекторами и устанавливает методы измерений их основных параметров:

энергетического разрешения;

диапазона энергий регистрируемого излучения;

предела допускаемой основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности);

эффективности регистрации в пике полного поглощения;

максимальной входной статистической загрузки;

нестабильности показаний (амплитуды сигнала во времени);

времени установления рабочего режима;

времени непрерывной работы.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Объем, состав и последовательность измерений должны быть установлены в соответствии с нормативно-технической документацией (далее — НТД) на спектрометры конкретных типов.

В процессе измерений должно быть обеспечено соблюдение правил техники безопасности в соответствии с ГОСТ 12.3.019—80, «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденных Главэнергонадзором, «Основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и дру-

Издание официальное Перепечатка воспрещена

© Издательство стандартов, 1987

гими источниками ионизирующих излучений ОСП –72/80», утвержденных Главным Государственным санитарным врачом СССР и «Норм радиационной безопасности НРБ—76», утвержденных Главным Государственным санитарным врачом СССР.

Перед измерением параметров каждый спектрометр должен пройти внешний осмотр на соответствие конструкторской документации или образцам, утвержденным в установленном порядке.

1.2. Измерение параметров спектрометров необходимо проводить по истечении времени установления рабочего режима по ГОСТ 24657—81 и после подачи рабочего напряжения на блок (узел) детектирования или детектор.

1.1, 1.2. **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

1.3. Измерения параметров спектрометров необходимо проводить в следующих условиях:

температура $(20\pm1)^{\circ}C$;

относительная влажность не более 80%;

атмосферное давление от 86 до 106 кПа, если другие не установлены для конкретных типов спектрометров.

1.4. Изменение номинального значения напряжения питания не должно превышать $+2\%$.

1.5. Испытательное оборудование, применяемое для измерения основных параметров спектрометра, не должно вносить в значение любого измеряемого основного параметра спектрометра погрешность, превышающую $^1/_3$ значения измеряемой величины. При этом влиянием испытательного оборудования следует пренебрегать.

Во всех остальных случаях методы учета погрешностей, вносимых испытательным оборудованием в измеряемые основные параметры спектрометра, должны быть указаны в НТД на спектрометры конкретных типов.

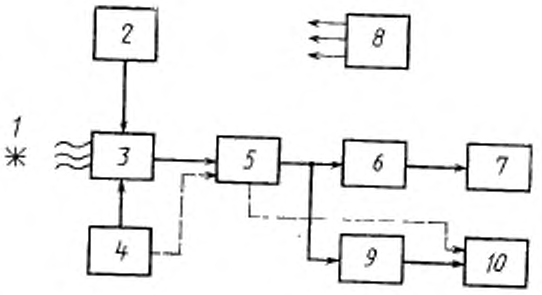
Обозначения параметров приведены в справочном приложении 1.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

2. АППАРАТУРА

2.1. Структурная схема для измерения основных параметров спектрометров приведена на черт. 1. Схема конкретного типа спектрометра может отличаться от приведенной структурной схемы.

В схему измерения спектрометров могут входить устройства обработки измерительной информации (например на базе микроЭВМ).



1—источник ионизирующего излучения; *2*—источник питания детектора, узла или блока детектирования; *3*—детектор, узел или блок детектирования; *4*—генератор импульсов точной амплитуды с регулируемой частотой следования импульсов до 20 кГц; *5*—измерительный преобразователь (предусилитель, основной формирующий усилитель, цепи компенсации полюса нулем, восстановитель постоянной составляющей, режектор наложенных импульсов, экспандер и др.); *6*—устройство накопления спектрометрической информации (многоканальный анализатор амплитуд импульсов); *7*—устройство вывода информации (дисплей, индикаторы, печатающие устройства и др.); *8*—источник питания спектрометра; *9*—амплитудный интегральный дискриминатор импульсов; *10*—счетчик импульсов с разрешающим временем не более 80 Гц

Черт. 1

Примечание. Спектрометрические устройства обычно состоят из блоков *2, 3, 5, 6,* и *8.*

При измерении основных параметров электронной части спектрометров, не имеющих в своем составе детектора или блока детектирования, моделирование входного сигнала можно обеспечивать при помощи генератора *4* (в этом случае отсутствуют структурные единицы *1, 2* и *3*, а связь генератора *4* с измерительным преобразователем *5* показана пунктиром). Измерение основных параметров таких устройств можно осуществлять по описанным в настоящем стандарте методам при помощи генератора *4* и (или) соответствующего детектора ионизирующего излучения.

3. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

3.1. Средства измерений и вспомогательные устройства

Средства измерений и вспомогательные устройства должны иметь характеристики, указанные в таблице.

Наименование средств измерений и вспомогательных устройств	Характеристики
Амплитудный анализатор импульсов	Число каналов не менее 1000 для альфа- и рентгеновского излучений, и не менее 4000 — для гамма-излучения по ГОСТ 16957—80
Генератор импульсов точной амплитуды	Диапазон регулируемых амплитуд импульсов генератора 0,01 –10 В; диапазон частот следования импульсов 50 Гц 100 кГц; форма выходных импульсов прямоугольная с длительностью фронта не более 0,05 мкс или треугольная с длительностью фронта не более 0,05 мкс и экспоненциальным спадом длительностью от 50 до 100 мкс
Радионуклидные источники ионизирующих излучений (ОСАИ, ОСГИ и др.)	Аттестуются по энергии испускаемого излучения и внешнему излучению (активности) по ГОСТ 8.315—78 и определяются спектрометром конкретного типа по НТД, утвержденной в установленном порядке

(Измененная редакция, Изм. № 1).

3.2. Подготовка к измерению

При проведении измерения энергетического разрешения интегральная статистическая загрузка на выходе усилителя должна лежать в пределах от 250 до 1000 импульсов в секунду, если не установлено другое значение. Необходимую загрузку спектрометрического тракта обеспечивают выбором активности используемого источника и расстояния между центром поверхности активного слоя источника и центром чувствительной поверхности детектора. При проведении измерения необходимо учитывать особые условия измерения, указанные в эксплуатационной документации (например значение разрежения (вакуума), используемые коллиматоры излучения, наличие рассеивателей излучения, расстояние до них и другие).

При проведении измерений необходимо экспериментально установить постоянные времени цепей формирования импульса спектрометрического тракта для получения минимального энергетического разрешения, если значения этих постоянных или условия их выбора не приведены в эксплуатационных документах.

Кроме того, необходимо произвести регулировку и подстройку вспомогательных органов управления спектрометра (например подстройку цепей компенсации полюса нулем, балансировку усилителей для установки нулевого потенциала на их выходе и др.).

Для определения загрузки спектрометрического тракта можно использовать интегральный дискриминатор и таймируемый счетчик импульсов. Если в состав спектрометрического тракта входит быстрый дискриминатор с сигналом логического уровня, его можно использовать вместо интегрального дискриминатора. Для этого случая на черт. 1 пунктиром показана связь спектрометрического тракта со счетчиком импульсов *10*. Значение уровня дискриминации, установленное в энергетических единицах, должно соответствовать указанному в эксплуатационных документах. Для определения загрузки счетчик импульсов включается на 10 с. При этом входная загрузка будет соответствовать $^1/_{10}$ показаний счетчика импульсов.

Требуемая загрузка может быть определена при помощи вспомогательных технических средств, входящих в состав спектрометра (например счетчиком импульсов).

Загрузка может быть также определена и по зарегистрированному спектру, если известно время набора полного спектра (без его экспандирования). Для этого необходимо просуммировать все отсчеты в каналах и разделить полученное число на время, в течение которого регистрируется спектр. Этот способ определения загрузки применим при близком соответствии истинного и аппаратурного спектра (например для альфа-спектрометров с полупроводниковым детектором и учетом мертвого времени).

Допускается использовать другие методы определения загрузки, указанные в эксплуатационных документах на конкретный тип спектрометра.

3.3. Проведение измерений

3.3.1. После установления требуемой загрузки регистрируют аппаратурный спектр, набирая в максимуме не менее 2000 отсчетов (импульсов), если иное не установлено для конкретного типа спектрометра.

Устанавливают такой режим спектрометра, при котором ширина пика на его полувысоте была бы в пределах от 10 до 20 каналов. Допускается регистрировать спектр при большем числе каналов на полувысоте.

Для определения ширины канала в энергетических единицах используют вторую моноэнергетическую линию от того же или другого источника или пик распределения импульсов генератора точной амплитуды. Расстояние между первым и вторым пиком должно быть не менее 5-кратной ширины пика на половине его высоты. Количество отсчетов в максимуме второго пика должно быть примерно равно количеству отсчетов в максимуме первого пика. Если второй пик создается импульсами генератора, проводят градуировку отсчетного устройства для задания амплитуды импульсов генератора в энергетических единицах.

Относительное энергетическое разрешение ($\eta_{отн}$) в процентах определяют по формуле

$$\eta_{отн} = \frac{\eta_{абс}}{E} \cdot 100, \qquad (1)$$

где $\eta_{абс}$ — значение абсолютного энергетического разрешения, кэВ; E — значение энергии пика полного поглощения моноэнергетической линии, кэВ.

Абсолютное энергетическое разрешение ($\eta_{абс}$) в килоэлектрон-вольтах вычисляют по формуле

$$\eta_{абс} = \Delta_n \cdot K, \qquad (2)$$

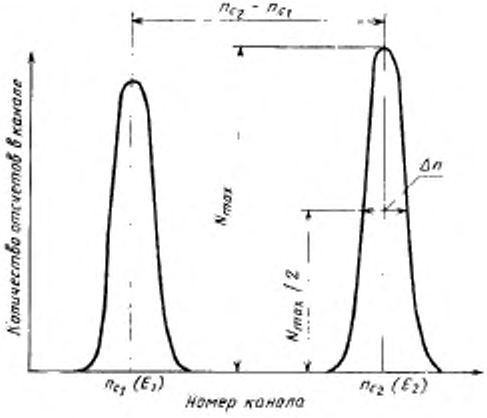
где Δ_n — ширина пика полного поглощения моноэнергетической линии на его полувысоте, число каналов; K — значение энергетической ширины канала, кэВ/канал.

Значение энергетической ширины канала K вычисляют по формуле

$$K = \frac{E_2 - E_1}{n_{c_2} - n_{c_1}}, \qquad (3)$$

где E_2, E_1 — значения энергии, соответствующие пикам полного поглощения или эквивалентной энергии пика распределения импульсов генератора, кэВ; n_{c_2}, n_{c_1} — номера каналов, соответствующие положениям центроид пиков с энергиями E_2 и E_1.

Условный аппаратурный спектр с пиками распределения показан на черт. 2.



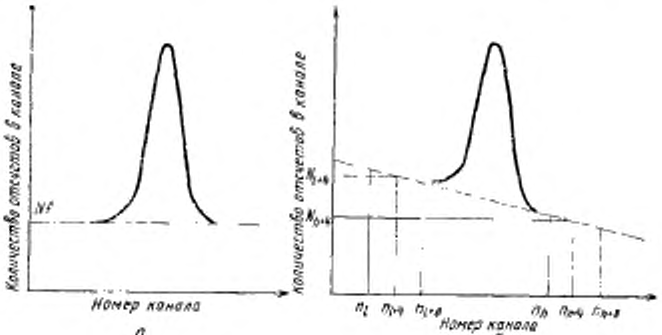
Черт. 2

3.3.2. Для определения положения центроид используются методы, определяемые спецификой аппаратурного спектра.

Если пик полного поглощения моноэнергетической линии расположен на распределении фонового излучения (пьедестала), для повышения точности измерения фоновые отсчеты вычитают из отсчетов пика аппаратурного спектра.

Вычитание фона не проводят, если его отсчеты в каналах не превышают 2% числа отсчетов в канале максимума пика.

3.3.2.1. Если с обеих сторон пика количество отсчетов в каналах одинаково в пределах статистической погрешности, через средние значения распределения фона N_f слева и справа пика проводят линию под пиком, которая на черт. 3 показана пунктиром.



Черт. 3

Затем из каждого отсчета канала N_i вычитают значение фона N_{fi} и строят новое распределение

$$N'_i = N_i - N_{fi}.$$

3.3.2.2. При несимметричном фоновом пьедестале относительно моноэнергетического пика (черт. 3б) процедуру вычитания фона проводят следующим образом: слева и справа от пика на расстоянии от его максимума, равном не менее четырехкратного значения ширины пика на его полувысоте, выбирают участки спектра шириной в 9 каналов. Затем рассчитывают вспомогательные величины

$$S_l = \sum_{l}^{l+8} N_l, \quad S_h = \sum_{h}^{h+8} N_h.$$

Определяют средний отсчет в каналах, находящихся в середине участков

$$\overline{N}_{l+4}=\frac{S_l}{9},\quad \overline{N}_{h-4}=\frac{S_h}{9}.$$

Значение фонового пьедестала в i-м канале под пиком будет определяться выражением

$$N_{fi}=\frac{\overline{N}_{l+4}\cdot n_{h+4}-\overline{N}_{h-4}\cdot n_{l+4}-(\overline{N}_{l+4}-\overline{N}_{h-4})\cdot n_i}{n_h-n_l}, \qquad (4)$$

при этом $l+8<i<h$.

Затем из каждого отсчета канала N_i вычитают значение фона N_{fi} и строят новое распределение $N'_i=N_i-N_{fi}$.

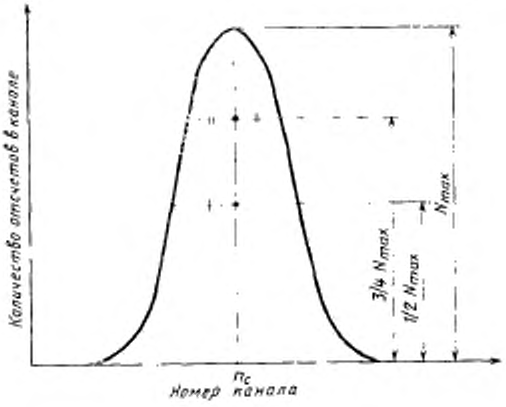
При недостаточной статистической точности участки, в пределах которых производят суммирование фона, могут выбираться с большим числом каналов.

3.3.2.3. При обособленных пиках спектра допускается использовать графический метод для вычитания фоновых отсчетов из пика полного поглощения. Для этого спектр строят в полулогарифмическом масштабе (по оси абсцисс откладывают номер канала, по оси ординат — логарифм числа отсчетов в канале). Через точки спектра проводят плавную огибающую и через непрерывное фоновое распределение с обеих сторон пика проводят прямую линию, интерпретирующую фоновый пьедестал под пиком. Затем из каждого отсчета канала пика вычитают соответствующий ему фоновый пьедестал.

Допускается использовать другие методы вычитания фоновых отсчетов из отсчетов каналов пика.

3.3.3. После получения пиков спектра с исключенным фоновым распределением определяют положение центроид пиков. Положение центроиды пика определяют одним из методов, описанных ниже.

3.3.3.1. Если при регистрации спектра пик получится достаточно симметричным и обеспечит проведение плавной огибающей через точки аппаратурного спектра, положение центроиды пика определяют графически, как показано на черт. 4. Для этого на полувысоте пика проводят линию, параллельную оси абсцисс до пересечения с огибающей. Через середину отрезка, ограниченного огибающей, проводят нормаль. Если нормаль делит пик на симметричные части, значение абсциссы нормали соответствует положению центроиды пика. Для проверки правильности определения положения центроиды рекомендуется на $^3/_4$ высоты пика провести линию, параллельную оси абсцисс. Если отрезок этой линии, ограниченный огибающей, нормаль делит пополам, то положение центроиды определено правильно и полученное значение можно применять для расчетов по формуле (3).



Черт. 4

3.3.3.2 Определение положения центроиды пика по средневзвешенному значению.

Используют симметричную часть пика, лежащую выше его полувысоты.

Положение центроиды (n_c) вычисляют по формуле

$$n_c = \frac{\Sigma N_i \cdot n_i}{\Sigma N_i}, \qquad (5)$$

где n_i — номер канала; N_i — отсчет в канале.

Полученное значение положения центроиды пика используют для расчетов по формуле (3).

3.3.3.3. Определение положения центроиды графоаналитическим методом.

Метод основан на свойствах нормального (гауссовского) распределения. Если считать, что пики спектра интерпретируются этим распределением, то

$$N_i = N_{max} \cdot exp\left[- \frac{(n_i - n_i)^2}{2\,\sigma^2} \right]. \qquad (6)$$

Затем определяют логарифм отношения отсчетов в двух соседних каналах:

$$\ln \frac{N_i}{N_{i+1}} = \frac{n}{\sigma^2} - \frac{2\,n_c - 1}{2\,\sigma^2} = A n_i - B, \qquad (7)$$

где

$$A = \frac{1}{\sigma^2}; \qquad B = \frac{2\,n_c - 1}{2\,\sigma^2}.$$

Если логарифм отношения отсчетов в соседних каналах равен нулю, т. е.

$$\ln\frac{N_i}{N_{i+1}}=0, \text{ то}$$

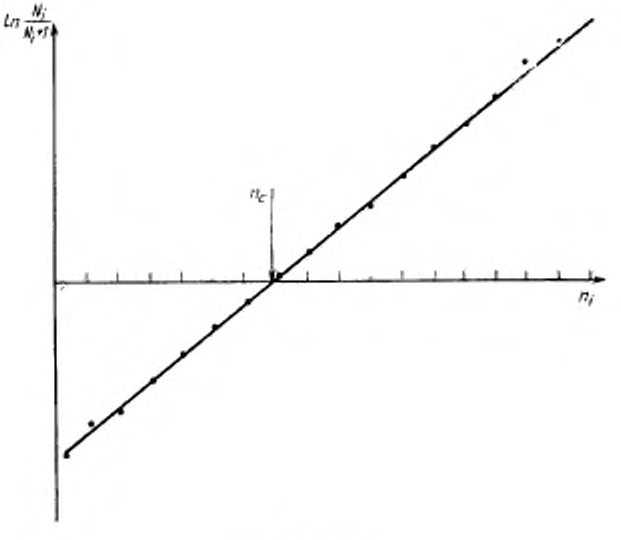
$$n_i=\frac{B}{A} \tag{8}$$

и соответствующий этому условию канал n_i имеет равное количество отсчетов с каналом n_{i+1}, поэтому положение центроиды будет определяться выражением

$$n_c=\frac{B}{A}+\frac{1}{2}. \tag{9}$$

Для определения параметров A и B строят график зависимости $\ln\frac{N_i}{N_{i+1}}=f(n_i)$, который показан на черт. 5. Для расчетов и

Определение положения центроиды графоаналитическим методом с использованием свойств нормального распределения



Черт. 5

построения используют точки спектра, расположенные выше полувысоты пика. Через полученные точки проводят прямую линию и определяют точку ее пересечения с осью абсцисс. Полученная точка соответствует положению центроиды.

Для повышения точности через полученные точки методом наименьших квадратов проводят прямую:

$$\ln\frac{N_i}{N_{i+1}}=A_{\text{пл}}+B. \qquad (10)$$

Определение параметров прямой линии, проведенной через совокупность точек по методу наименьших квадратов, приведено в справочном приложении 2.

Статистический вес каждого измерения при этом принимают равным единице. После вычисления коэффициентов A и B положение центроиды рассчитывают по формуле (9).

Положение центроиды пика определяют также и другими методами (по равенству нулю первой производной, минимуму второй производной, корреляционным методом, методом подбора огибающей пика и др.).

Метод определения положения центроиды указывается в эксплуатационных документах. После определения центроид пиков рассчитывают энергетическое значение ширины канала по формуле (3).

3.3.4. Для определения ширины пика на его полувысоте применяют методы, определяемые спецификой аппаратурного спектра конкретного типа спектрометра. Определение этого параметра проводят после выполнения процедур вычитания фонового пьедестала по п. 3.3.2.

3.3.4.1. Если при регистрации спектра пик получают достаточно симметричным и он обеспечивает проведение плавной огибающей через точки аппаратурного спектра, ширину пика на его полувысоте определяют графически. Для этого на полувысоте пика проводят линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с огибающей. Отрезок этой прямой, ограниченный с обеих сторон огибающей, представляет собой ширину пика на полувысоте. Если его длину в каналах умножить на значение энергетической ширины канала, то определяют значение $\eta_{\text{асс}}$.

3.3.4.2. Определение ширины пика на его полувысоте методом линейной интерполяции.

На полувысоте пика проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с предполагаемой огибающей линией. На левом склоне пика находят две соседние точки спектра, лежащие ниже и выше полувысоты, т. е. канал n_l с числом отсчетов N_l и канал n_{l+1} с числом отсчетов N_{l+1}. Подобную операцию выполняют на правом склоне пика, определяя канал n_h с числом отсчетов

N_h и канал n_{h+1} с числом отсчетов N_{h+1}. Таким образом получают две пары точек спектра, для которых выполняются условия

$$\begin{cases} N_l < \frac{N_{max}}{2} < N_{l+1}; \\ N_h > \frac{N_{max}}{2} > N_{h+1}, \end{cases} \qquad (11)$$

где N_{max} — высота пика (ордината максимума).

Затем вычисляют

$$\Delta n = \left(n_h + \frac{N_h - \frac{N_{max}}{2}}{N_h - N_{h+1}} \right) - \left(n_l + \frac{\frac{N_{max}}{2} - N_l}{N_{l+1} - N_l} \right). \qquad (12)$$

3.3.4.3. Для вычисления ширины пика на его полувысоте можно использовать результаты графоаналитического метода по п. 3.3.3.3. Используя значение параметра A, полученного методом наименьших квадратов, ширину пика (Δ_n), выраженную в каналах, вычисляют по формуле

$$\Delta n = 2\sqrt{\frac{2\ln 2}{A}}. \qquad (13)$$

3.3.5. Значение абсолютного энергетического разрешения спектрометра вычисляют по формуле (2), используя данные по энергетическому значению ширины канала, определенные по п. 3.3.3, и ширины пика на его полувысоте, определенные по п. 3.3.4.

Для повышения достоверности данных проводят несколько измерений с последующим усреднением, по крайней мере, трех результатов.

Если результаты первого и второго измерения находятся в пределах погрешности, соответствующей конкретному типу спектрометра, допускается ограничиться этими измерениями.

Для спектрометра с полупроводниковым детектором (ППД) записывают среднее значение абсолютного разрешения и энергии пика полного поглощения, для которого оно определено.

Затем по формуле (1) рассчитывают значение относительного разрешения $\eta_{отн}$ и отмечают постоянные времени цепей формирования импульса спектрометрического тракта, при котором оно получено. Измерение энергетического разрешения может быть проведено на нескольких моноэнергетических линиях.

3.3.6. Для определения энергетического разрешения альфа-спектрометра с ППД проводят предварительное измерение энергетической ширины канала анализатора с использованием источ-

ника альфа-излучения с энергиями от 4,5 до 8 МэВ (например $^{233}V+^{239}Pu+^{238}Pu$ или ^{226}Ra). Источник устанавливают в блок (устройство) детектирования или узел детектора (далее — БД, УД) на таком расстоянии от детектора, чтобы значение плоского угла, ограниченного диаметрами активного пятна источника и чувствительной поверхности детектора, не превышало 60°. Измерения проводят при давлении в камере БД (УД) не более 15 Па по пп. 3.2—3.3.3.

3.3.6.1. Не изменяя положения органов управления спектрометра, в блок (устройство) детектирования помещают вместо указанного выше альфа-источник ^{239}Pu или подобный ему с другими радионуклидами, имеющий разброс энергии не более 10 кэВ. Энергетическое разрешение* для данного источника определяют по разд. 3 с использованием значения энергетической ширины канала по результатам измерений п. 3.3.6.

3.3.6, 3.3.6.1. **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

3.3.7. Для определения энергетического разрешения гамма-спектрометра с ППД используют, например, источник ^{60}Co. Измерения проводят по разд. 3, определяя энергетические разрешения по линии 1332 кэВ.

3.3.8. Для определения энергетического разрешения рентгеновского спектрометра с ППД проводят предварительное измерение энергетической ширины канала анализатора подходящими источниками мягкого гамма- и рентгеновского излучения (например ^{55}Fe, ^{57}Co, ^{238}Pu и т. д.) по пп. 3.2, 3.3.1, 3.3.2 и 3.3.3.

3.3.8.1. Не изменяя положения органов управления спектрометра, на блок детектирования устанавливают источник ^{55}Fe. Энергетическое разрешение для данного источника определяют по разд. 3 с использованием значения энергетической ширины канала по результатам измерений п. 3.3.8.

Для спектрометров рентгеновского излучения с германиевыми ППД энергетическое разрешение определяют по линии 5,9 кэВ источника ^{55}Fe и по линии 122 кэВ источника ^{57}Co.

Если в конкретном спектрометре применяют ППД из материалов, отличных от германия и кремния, то в эксплуатационных документах указывают источник излучения.

3.3.9. Для определения энергетического разрешения гамма-спектрометра со сцинтилляционными детекторами используют, например, источники ^{57}Co и ^{137}Cs с энергиями гамма-квантов $E_1=122$ кэВ и $E_2=661$ кэВ соответственно.

Органы управления спектрометра устанавливают в положение, обеспечивающее регистрацию пика полного поглощения от источника ^{137}Cs в пределах от 75 до 80% максимального числа каналов. Источники располагают на оси детектора на таких расстоя-

* Если разрешение спектрометра около 15—18 кэВ, допускается определять энергетическую цену канала по линиям тонкой структуры.

ниях от его торца, при которых количество отсчетов в максимумах обоих пиков примерно одинаковы.

Измерения проводят в соответствии с разд. 3, определяя энергетическое разрешение для энергии E_2. Для конкретных спектрометров допускается последовательная раздельная регистрация гамма-спектров источников ^{57}Co и ^{137}Cs, а также замены источника ^{57}Co на источник с другим нуклидом, например ^{203}Hg или ^{113}Sn.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

4. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДИАПАЗОНА ЭНЕРГИИ РЕГИСТРИРУЕМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ПРЕДЕЛА ДОПУСКАЕМОЙ ОСНОВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ (ИНТЕГРАЛЬНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ — ИНЛ)

4.1. Средства измерений и вспомогательные устройства — по п. 3.1.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

4.2. Подготовка к измерению

4.2.1. При проведении измерений статистическая загрузка спектрометра должна быть в пределах от 250 до 1000 импульсов в секунду, если иное не установлено для конкретного типа спектрометра. Загрузку спектрометра определяют по п. 3.2. При измерениях необходимо использовать источники, создающие несколько пиков в аппаратурном спектре. Линии спектра, используемые для обработки, выбираются в соответствии с указанными в эксплуатационных документах.

Органы управления спектрометра устанавливают так, чтобы были использованы 80—90% каналов многоканального анализатора импульсов, если иное не установлено для конкретного типа спектрометра. Спектр набирают поочередно от каждого источника или от всех необходимых источников сразу.

4.3. Проведение измерения

4.3.1. Регистрацию спектра проводят при числе отсчетов в каждом пике не менее 10000, если иное не установлено для конкретного типа спектрометра.

4.3.2. В соответствии с пп. 3.3.2 и 3.3.3 определяют положения центроид пиков.

4.3.3. Характеристику преобразования спектрометра представляют в виде прямой линии $n = \bar{a} + \bar{G}E$.

Параметры прямой определяют по методу наименьших квадратов, используя полученные значения положения центроид пиков и соответствующие им справочные значения энергий частиц и фотонов. Статистические веса принимают равными единице.

4.3.4. Для каждой центроиды n_{c_i} пика, соответствующего

энергии E_i, рассчитывают отклонение от прямой линии, описывающей характеристику преобразования (ΔE_i), в килоэлектронвольтах по формуле

$$\Delta E_i = E_i - \frac{n_{c_i} - \tilde{a}}{\tilde{b}} \qquad (14)$$

или

$$\Delta E_i = E_i - \frac{n_{c_i}\left[m\sum\limits^{m} E_i^2 - (\sum\limits^{m} E_i)^2\right] - \left(\sum\limits^{m} E_i^2 \sum\limits^{m} n_i - \sum\limits^{m} E_i \sum\limits^{m} n_{c_i} \cdot E_i\right)}{m\sum\limits^{m} n_{c_i} E_i - \sum\limits^{m} n_{c_i} \sum\limits^{m} E_i}, \qquad (15)$$

где m — число обрабатываемых пиков.

Затем выбирают максимальное значение из полученных разностей (ΔE_i^{max}) и рассчитывают ИНЛ в процентах по формуле

$$\text{ИНЛ} = \frac{\Delta E_i^{max}}{E_{max}} \cdot 100, \qquad (16)$$

где E_{max} — верхнее значение энергии из измеряемого диапазона энергий, кэВ.

Измерение ИНЛ спектрометра одновременно является проверкой диапазона энергии регистрируемого излучения.

4.4. Для определения ИНЛ спектрометра альфа-излучения с ППД применяют источник альфа-частиц, имеющий собственную ширину энергетического распределения на половине высоты от 10 до 20 кэВ, если иное не установлено для спектрометра конкретного типа спектрометра, источник должен испускать альфа-частицы с энергиями в диапазоне от 4,5 до 8,0 МэВ (рекомендуется использовать неэманирующий источник на основе радия или тория или их смеси; допускается использовать источник с радионуклидами $^{233}U + ^{238}Pu + ^{239}Pu$ или подобный ему с другими альфа-излучающими радионуклидами). Источник устанавливают в блоке (устройстве) детектирования на таком расстоянии от детектора, чтобы значение плоского угла, ограниченного диаметрами активного пятна источника и чувствительной поверхности детектора, не превышало 60°. Измерения проводят при давлении в камере блока (устройства) детектирования не более 15 Па. Органы управления спектрометра устанавливают в положения, обеспечивающие регистрацию пика амплитудного распределения от наиболее низкоэнергетической линии альфа-частиц в пределах от 5 до 20% диапазона многоканального анализатора, а пика от наиболее высокоэнергетической линии альфа-частиц в пределх 80 –95% диапазона анализатора.

Интегральную нелинейность спектрометра определяют в соответствии с разд. 4.

Если диапазон энергий регистрируемого излучения спектрометра существенно превосходит диапазон энергии альфа-частиц источника, допускается диапазон энергий и интегральную нелинейность измерять с использованием генератора импульсов точной амплитуды. Отсчетное устройство генератора для задания амплитуды должно быть проградуировано в энергетических единицах. Сигнал генератора подают на вход предусилителя через калибровочную емкость (1—10 пФ). Частота следования импульсов генератора не должна превышать 1000 импульсов в секунду. В этом случае измерения считаются достоверными, если относительное разрешение пиков, обусловленных регистрацией импульсов генератора, не превышает относительного разрешения пиков, обусловленных регистрацией линии альфа-частиц. Изменяя амплитуду импульса генератора в зависимости от конкретного типа спектрометра, определяют его ИНЛ по пп. 4.2.1—4.2.4.

4.3, 4.4. **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

4.5. Для определения диапазона энергий регистрируемого излучения и ИНЛ гамма-спектрометра с ППД используют источники гамма-излучения, сочетание которых обеспечивает регистрацию не менее семи пиков полного поглощения наиболее равномерно распределенных в диапазоне энергий регистрируемых спектрометром квантов. В качестве источников излучения можно использовать ^{241}Am, ^{57}Co, ^{113}Sn, ^{139}Ce, ^{137}Cs, ^{22}Na, ^{65}Zn, ^{60}Co, ^{88}Y и другие долгоживущие гамма-излучающие радионуклиды. Интегральную нелинейность определяют по разд. 4.

4.6. Для определения диапазона энергий регистрируемого излучения и ИНЛ спектрометра рентгеновского излучения с ППД используют любые источники низкоэнергетического гамма- и рентгеновского* излучений, у которых по крайней мере пять моноэнергетических линий лежат в диапазоне энергий регистрируемого излучения спектрометра. Набор таких источников должен быть указан в НТД на спектрометр конкретного типа.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

4.7. Для определения диапазона энергий регистрируемого излучения и ИНЛ гамма-спектрометра со сцинтилляционным детектором используют такое количество радиоактивных источников, которое обеспечивает регистрацию не менее семи пиков полного поглощения в требуемом энергетическом диапазоне (например источники с нуклидами ^{22}Na, ^{57}Co, ^{65}Zn, ^{88}Y, ^{113}Sn, ^{137}Cs, ^{139}Ce и ^{241}Am).

Источники из указанных нуклидов располагают на оси детектора на таких расстояниях от торца детектора, при которых ко-

* Для измерений могут использоваться рентгеновские линии возбуждения, указанные в НТД на спектрометр конкретного типа.

личества импульсов в максимумах пиков полного поглощения наиболее интенсивных линий были бы примерно одинаковы.

Интегральную нелинейность определяют по разд. 4.

4а. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ В ПИКЕ ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПРИ ЗАДАННОЙ ГЕОМЕТРИИ

4а.1. Средства измерений и вспомогательные устройства — по п. 3.1 дополнительно применяют дистансерное устройство, позволяющее получать погрешность не более 2% расстояния между источником и детектором.

4а.2. Подготовка к измерениям — по п. 3.2.

4а.3. Проведение измерений

В дистансерное устройство устанавливают требуемый источник ионизирующего излучения на расстоянии от блока детектирования, указанном в НТД на спектрометр конкретного типа. Проводят регистрацию спектра ионизирующего излучения, испускаемого источником. Число импульсов, зарегистрированных в пике полного поглощения, должно быть не менее $2 \cdot 10^3$.

Фон в области пика полного поглощения не должен превышать 5% числа импульсов в пике полного поглощения. В случае более высокого значения фона измеряют фон в требуемом энергетическом интервале и вычитают его значение из пика полного поглощения.

Метод учета фона должен быть указан в НТД на спектрометр конкретного типа, утвержденной в установленном порядке.

При измерениях анализатор переключают в режим работы, учитывающий «живое время» анализатора. При невозможности этого необходимо учитывать «мертвое время» спектрометра конкретного типа в соответствии с НТД, утвержденной в установленном порядке. Определяют число отсчетов, зарегистрированных в пике полного поглощения I соответствующей энергии. При измерении проводят 10 наблюдений, перед каждым наблюдением источник устанавливают в дистансерное устройство повторно.

4а.4 Обработка результатов

Значение эффективности в пике полного поглощения ε_i для данного значения энергии рассчитывают по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{I}{\tau \cdot A_0 \cdot \exp\left(-\frac{0{,}693t}{T_{1/2}}\right)}, \qquad (16а)$$

где A_0 — паспортное значение внешнего излучения данной энергии в угол $4\pi_{ср}$;

$T_{1/2}$ — период полураспада;

t — время, прошедшее со времени аттестации источника;

τ — время набора спектра («живое время» анализатора).

Среднее значение эффективности регистрации в пике полного поглощения для данной геометрии рассчитывают по формуле

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\Sigma \varepsilon_i}{10}. \qquad (16б)$$

Погрешность определения $\bar{\varepsilon}$ находят следующим образом. Оценивают среднее квадратическое отклонение от среднего $S_{\bar{\varepsilon}}$

$$S_{\bar{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\Sigma(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{9 \cdot 10}} \text{ и } \delta_{\bar{\varepsilon}} = \frac{S_{\bar{\varepsilon}}}{\bar{\varepsilon}} \cdot 100\%. \qquad (16в)$$

Общая погрешность определения эффективности для 95%-ного доверительного интервала при десяти наблюдениях

$$\Delta = \frac{1{,}1V + 2{,}3S_{\bar{\varepsilon}}}{\sqrt{\frac{1}{3}V^2 + \delta_{\bar{\varepsilon}}^2}} \cdot \sqrt{\delta_{\bar{\varepsilon}}^2 + \frac{1}{3}V^2}, \qquad (16г)$$

где $V = \sqrt{\delta_{A_0}^2 + \delta_{(T,\tau)}^2}$;

δ_{A_0} — погрешность аттестации по внешнему излучению (из паспорта на радионуклидный источник);

$\delta_{(T,\tau)}$ — вклад в общую погрешность, обусловленный погрешностью значения периода полураспада и погрешностью определения времени, прошедшего с момента аттестации до момента измерений. Должен быть указан в НТД на спектрометр конкретного типа.

Разд. 4а. **(Введен дополнительно, Изм. № 1).**

5. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ВХОДНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ

5.1. Средства измерений и вспомогательные устройства — по п. 3.1, дополнительно: частотомер с диапазоном измеряемых частот 0—500 МГц; генератор импульсов точной амплитуды с переключаемой (регулируемой) частотой следования импульсов; диапазон амплитуд импульсов генератора 0,01—10 В, диапазон частот следования импульсов 50 Гц —100 кГц; форма выходных импульсов прямоугольная с длительностью фронта не более 0,05 мкс или треугольная с длительностью фронта не более 0,05 мкс и экспоненциальным спадом длительностью от 50 до 100 мкс.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

5.2. Подготовка к измерению

При проведении измерений при загрузках, близких к максимальному значению, необходимо принимать во внимание несколько факторов, сказывающихся на результатах измерений.

При увеличении входной загрузки возрастают просчеты импульсов, обусловленные различными процессами в спектрометрическом и регистрирующем тракте спектрометра.

Для любого устройства, в котором существуют просчеты, связь между входной загрузкой N_{in} и выходной N_{out} соответствует выражению

$$N_{out} = N_{in} \cdot exp(-N_{in} \cdot \tau), \quad (17)$$

где τ — длительность интервала времени, в пределах которого образуются наложения (просчеты).

Метод измерения загрузок должен учитывать нелинейную зависимость между входной и выходной загрузкой.

5.3. Проведение измерения

5.3.1. Первое измерение при малой загрузке проводят в соответствии с разд. 3. Органами управления спектрометра добиваются расположения пика моноэнергетической линии в канале, лежащем в пределах от 75 до 80% максимального числа каналов анализатора. При этом экспандирование импульсов не проводят.

При этих условиях определяют энергетическое разрешение и положение центроиды пика.

Для определения загрузочной способности можно, в зависимости от вида спектрометра, использовать несколько методов. Обязательным условием измерения является неизменность положения органов управления спектрометра, установленных при измерении по п. 5.3.1.

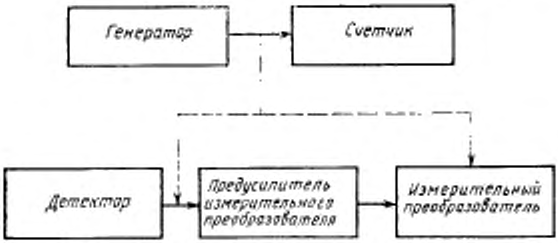
5.3.1.1. Более точный метод, применяемый для измерения загрузок, состоит в использовании генератора импульсов с переключаемой (регулируемой) частотой и счетчика импульсов, соединенных в соответствии с черт. 6.

После выполнения измерений по п. 5.3.1 детектор спектрометра помещают в поток моноэнергетического излучения, создающий загрузку, близкую к предельной. При этом для исключения эффектов суммирования при использовании источников каскадных гамма-квантов и краевых эффектов (для детекторов заряженных частиц) необходимо указывать в НТД минимально допустимое расстояние между центрами поверхностей детектора, узла или блока детектирования и источника, при котором вклад в аппаратурный спектр этих эффектов мал и не влияет на результаты измерений.

При увеличении загрузки спектрометр может потребовать подстройки вспомогательных органов управления. После выполнения любых подстроек необходимо повторить измерения по п. 5.3.1.

Затем коэффициент усиления спектрометрического тракта уменьшают в два раза. В спектрометрический тракт любым об-

Схема измерения загрузочной способности спектрометра



Черт 6

разом подают сигнал генератора импульсов так, чтобы его пик располагался в каналах с большими номерами, чем пики суммирования, в пределах от 90 до 95% максимального числа каналов многоканального анализатора на монотонной части спектра. Для спектрометров с ППД сигнал генератора подают на вход предусилителя через калибровочную емкость. При такой настройке импульсы генератора располагают в области тройных наложений и их интенсивность в этой части спектра существенно меньше, чем в области пика полного поглощения. Частоту генератора устанавливают так, чтобы пик надежно выделялся (с погрешностью площади пика не более 5%) из распределения наложенных импульсов. После установки амплитуды импульсов и частоты генератора проводят одновременную регистрацию спектра на спектрометре и числа импульсов генератора на счетчике за время t. Затем, начиная с канала, соответствующего нижнему энергетическому порогу дискриминации, определяют полное число отсчетов в спектре N_{Σ}. Проводят вычитание фонового распределения из пика генератора по п. 3.3.2 и определяют полное число отсчетов в пике генератора $N_{\text{п}}$.

Нормировочный коэффициент рассчитывают по формуле

$$\varkappa = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{г}}}, \qquad (18)$$

где $N_{\text{г}}$ — число зарегистрированных импульсов в счетчике.

Зная нормировочный коэффициент, учитывающий просчеты в спектрометре, определяют значение входной загрузки (N_{in}) по формуле

$$N_{\text{in}} = \frac{N_{\Sigma} - N_{\text{г}}}{\varkappa \cdot t}. \qquad (19)$$

Для повышения достоверности измерений (особенно, если в состав аппаратуры входит предусилитель с оптоэлектронной обратной связью) рекомендуется измерение повторить, увеличив частоту следования импульсов генератора в три раза (из-за возможного случайного совпадения частот генератора и восстановления режима предусилителя вследствие разравнивания статистического потока импульсов).

После первичного определения загрузки необходимо довести ее до максимальной в соответствии с установленной для конкретного типа спектрометра.

Окончив установку загрузки и отсоединив генератор от спектрометрического тракта, коэффициент усиления спектрометрического тракта увеличивают в два раза и определяют энергетическое разрешение и положение центроиды пика моноэнергетической линии по пп. 3.3.2—3.3.4.

Допускается использовать другие методы определения загрузки спектрометра.

Метод определения загрузки спектрометра должен соответствовать указанному в эксплуатационных документах.

5.3.2. Зная энергетическую ширину канала анализатора, положения центроид пиков и энергетические разрешения при малой и максимальной загрузках, рассчитывают относительное значение изменения разрешения (δ_η) в процентах по формуле

$$\delta_\eta = \frac{\eta_h - \eta_l}{\eta_l} \cdot 100, \qquad (20)$$

где η_h, η_l — соответственно значения энергетического разрешения (см. п. 5.3) спектрометра при максимальной и малой загрузке,

и относительное смещение положения центроиды пика (δ_c) в процентах по формуле

$$\delta_c = \frac{n_{ch} - n_{cl}}{E} K \cdot 100, \qquad (21)$$

где n_{cl}, n_{ch} — соответственно номер канала, соответствующий положению центроиды пиков при максимальной и малой загрузке; K — энергетическая ширина канала, определенная при малой загрузке, кэВ; E — энергия, соответствующая моноэнергетическому пику, кэВ.

5.3.3. Для определения максимальной входной статистической загрузки альфа-спектрометра с ППД используют источник ^{238}Pu или подобный ему с другим альфа-излучающим радионуклидом с разбросом энергий не более 20 кэВ.

Изменение входной загрузки проводят изменением расстояния между источником и детектором. Значение плоского угла, ограниченного диаметрами активного пятна источника и чувствитель-

ной поверхности детектора, не должно превышать 60°. Измерения проводят в соответствии с разд. 5.

5.3.4. Для определения максимальной входной статистической загрузки гамма-спектрометра с ППД используют, например, источник ^{60}Co. Изменение входной загрузки проводят изменением расстояния между источником и детектором. При этом минимальное значение этого расстояния должно быть не менее 25 см. Измерения проводят в соответствии с разд. 5, определяя изменение положения центроиды пика и энергетического разрешения по линии 1332 кэВ в зависимости от входной загрузки.

Для гамма-спектрометров с ППД необходимо указывать параметры детектора (объем, чувствительность или эффективность), при которых проводились измерения.

5.3.5. Для определения максимальной входной статистической загрузки рентгеновского спектрометра с ППД используют источник рентгеновского излучения, например, ^{55}Fe.

Изменение входной загрузки проводят изменением расстояния источник-детектор. Измерения проводят по разд. 5, определяя изменение положения центроиды пика и энергетического разрешения по линии 59 кэВ в зависимости от входной загрузки.

Измерения выполняют при постоянных времени цепей формирования импульса спектрометрического тракта $\tau_f = 1$ мкс. Рекомендуется проводить аналогичные измерения при постоянных времени цепей формирования $\tau_f = 2{,}0$; 4,0; 6,0 мкс. Если у конкретного спектрометра постоянные времени цепей формирования отличаются от указанных в настоящем стандарте, измерения проводят при постоянных времени, в наибольшей мере близких к перечисленным. В противном случае измерения выполняют при среднем значении постоянных времени, а также при максимальном и минимальном их значениях.

Для спектрометров с блоками детектирования с германиевыми ППД рекомендуется дополнительно проводить аналогичную процедуру, используя источник ^{57}Co (линию 122 кэВ) или ^{241}Am (линию 59,9 кэВ). Если в конкретном спектрометре применяют ППД из материалов, отличных от кремния и германия, то максимальную входную загрузку измеряют при помощи источника, тип которого указан в эксплуатационных документах.

Для рентгеновских и гамма-спектрометров с ППД дополнительно допускается приводить абсолютное значение изменения разрешения и смещения положения центроиды пика.

Для большей полноты характеристики таких спектрометров желательно определять эти параметры при различных постоянных времени цепей формирования импульса спектрометрического тракта и при различных значениях загрузки.

5.3.6. Для определения максимальной входной статистической загрузки гамма-спектрометра со сцинтилляционным детектором

используют источник ^{137}Cs. Измерение входной загрузки проводят изменением расстояния источник—детектор. Для конкретного типа спектрометра в его эксплуатационной документации указано минимальное значение этого расстояния.

Измерения проводят по разд. 5, определяя изменение положения центроиды пика и энергетического разрешения по линии 661 кэВ в зависимости от входной загрузки.

5.3.7. В дополнение к указанному в пп. 5.3.3—5.3.6 допускается измерять максимальную входную загрузку спектрометра следующим образом.

Измеряют скорость счета импульсов на выходе усилительного тракта спектрометра и в анализируемом максимуме амплитудного распределения импульсов при увеличении входной статистической загрузки спектрометра при помощи источника, испускающего кванты (частицы) с энергией меньшей, чем в анализируемом максимуме.

Для этого спектрометр устанавливают в режим, при котором проводится измерение «живого» времени.

К выходу усилительного тракта спектрометра подключают измеритель входной статистической загрузки.

Устанавливают перед детектором в БД (УД) первый источник, испускающий кванты (частицы) с наибольшей энергией, чем другие источники, используемые при определении входной статистической загрузки. Входная загрузка спектрометра должна быть от 200 до 1000 импульсов в секунду.

Проводят измерения спектра импульсов от первого источника. В максимуме, соответствующем регистрации квантов (частиц) с максимальной энергией, набирают не менее 10^4 импульсов. Устанавливают второй источник так, чтобы он не экранировал первый источник (или испускал наряду с частицами с наибольшей энергией и частицы с меньшими энергиями), увеличивают входную загрузку последовательно, каждый раз за длительность измерения спектра первого источника измеряют спектр импульсов в присутствии второго источника. Определяют скорость счета импульсов в анализируемом максимуме.

Допускается определять входную загрузку спектрометра путем суммирования импульсов, регистрируемых в единицу времени во всех каналах амплитудного анализатора.

Входную загрузку спектрометра увеличивают до тех пор, пока скорость счета импульсов в анализируемом максимуме не уменьшится примерно на 10% по отношению к первоначальному результату.

Значение максимальной входной статистической загрузки спектрометра определяется допустимым значением уменьшения скорости счета импульсов в анализируемом максимуме по отношению к первоначальному значению.

Конкретное значение максимальной входной статистической загрузки спектрометра должно быть указано в НТД на спектрометр конкретного типа, утвержденный в установленном порядке. В НТД обязательно должны быть указаны установки нижнего и верхнего порогов дифференциального энергетического окна анализируемого максимума амплитудного распределения.

(Введен дополнительно, Изм. № 1).

5а. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПОКАЗАНИЙ (АМПЛИТУДЫ СИГНАЛА ВО ВРЕМЕНИ)

5а.1. Средства измерений и вспомогательные устройства — по п. 3.1.

5а.2. Подготовка к измерениям — по п. 3.2, дополнительно: колебания температуры окружающего воздуха за время измерений не должны превышать $\pm 2^{\circ}$С.

5а.3. Проведение измерений — по п. 3.3, при этом подбирают источники ионизирующего излучения, испускающие фотоны или частицы с энергиями, возможно ближе соответствующими начальному и конечному значениям энергетического диапазона спектрометра Проводят набор их составного спектра. Время измерения определяют из условия, чтобы число отсчетов в пике полного поглощения наименьшей площади было не менее 10000 имп.

При измерении проводят 10 наблюдений в течение времени непрерывной работы спектрометра через равные промежутки времени.

5а.4. Обработка результатов

После завершения измерений определяют положение центроид пиков полного поглощения N_1 и N_2 и рассчитывают средние значения положения каждой центроиды по формулам:

$$\bar{N}_1 = \frac{\Sigma N_{1i}}{10}, \quad \bar{N}_2 = \frac{\Sigma N_{2i}}{10}, \tag{21а}$$

а также средние квадратические отклонения S_1 и S_2 каждой центроиды.

Значение S_1 вычисляют по формуле

$$S_1 = \sqrt{\frac{\Sigma (N_{1i} - \bar{N}_1)^2}{9 \cdot 10}}. \tag{21б}$$

Выбирают максимальное из полученных значений S_{max}. Долговременную нестабильность D_t в энергетических единицах вычисляют по формуле

$$D_t = \pm K(S_{max} + \delta_N), \tag{21в}$$

где K — энергетическая цена ширины канала анализатора;

δ_N — погрешность определения центроиды пика полного поглощения в каналах.

Долговременную нестабильность в процентах D_t^0 вычисляют по формуле

$$D_t^0 = \frac{D_t}{E_{max}} \cdot 100, \qquad (21г)$$

где E_{max} — конечное значение энергии из проверяемого диапазона.

Разд. 5а. **(Введен дополнительно, Изм. № 1).**

6. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ УСТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧЕГО РЕЖИМА И ВРЕМЕНИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАБОТЫ

6.1. Сущность метода

Метод заключается в обработке спектрометрической информации, получаемой при регистрации одной или нескольких моноэнергетических линий в результате последовательных измерений спектра в течение времени непрерывной работы спектрометра.

Поскольку характеристика преобразования спектрометра имеет линейный вид, достаточно измерить ее нестабильность во времени по двум разнесенным друг от друга точкам. Так как в течение времени установления рабочего режима спектрометр не обеспечивает измерение с нормируемой погрешностью, только по прошествии этого времени начинают измерение положения центроид пиков.

В результате измерений определяется относительное среднее квадратическое смещение положения центроиды пика моноэнергетической линии.

6.2. Подготовка к измерению

6.2.1. Для измерения используют, по крайней мере, две моноэнергетические линии, располагаемые в средних частях первой и второй половины шкалы анализатора. Для альфа-спектрометров допускается использовать одну моноэнергетическую линию, располагаемую в средней части второй половины шкалы (на уровне 60—30% общего числа каналов).

Тип источника должен соответствовать указанному в эксплуатационных документах.

6.2.2. Измерения проводят при неизменном положении источника относительно детектора, узла или блока детектирования и неизменном положении органов управления спектрометрического тракта.

Входная загрузка спектрометра должна быть в пределах от 250 до 1000 импульсов в секунду, если другое значение не огово-

рено в эксплуатационных документах. Входную загрузку спектрометра определяют в соответствии с разд. 3.2.

6.3. Проведение измерения

Спектрометр подключают к источнику питания и включают. На детектор или блок детектирования подают рабочее напряжение. Спустя время, необходимое для установления рабочего режима, устанавливают источники излучения и задают входную загрузку. Затем спектрометр выключают на 2 ч.

После указанной паузы прибор включают и после установления рабочего режима определяют положение центроид пиков по п. 3.3.2. При наличии навыков работы с конкретными спектрометрами и источниками можно указанные подготовительные работы проводить в течение времени установления рабочего режима. В этом случае паузы можно не делать, а к первому измерению положения центроид пиков приступают после времени установления рабочего режима. Если при измерениях влияние фона на погрешность определения положения центроиды мало по сравнению с нестабильностью положения центроиды, вычитание фонового распределения под пиком можно не проводить.

Не отключая спектрометр от источника питания, при неизменных положениях органов управления спектрометрического тракта, аналогичным образом определяют еще 10 раз положение центроид пиков через равные промежутки времени в течение времени непрерывной работы спектрометра (но не реже чем через 4 ч.).

Затем рассчитывают среднее значение положения центроид пиков $\bar{n}_{cl}$ и $\bar{n}_{ch}$, зарегистрированных соответственно в нижней и верхней половине шкалы многоканального анализатора спектрометра

$$\bar{n}_{cl} = \frac{\sum_{i}^{m} n_{l_i}}{m}, \tag{22}$$

$$\bar{n}_{ch} = \frac{\sum_{i}^{m} n_{h_i}}{m}, \tag{23}$$

где n_{l_i}, n_{h_i} — положение центроид, полученное в каждом измерении; m — число измерений и средние квадратические отклонения (σ_l) и (σ_h) для обеих центроид

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{m} (n_{li} - \bar{n}_{cl})^2}{m-1}}; \tag{24}$$

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{m} (n_{chi} - \bar{n}_{ch})^2}{m-1}}. \tag{25}$$

Из полученных значений σ_1 и σ_2 выбирают максимальное и рассчитывают временную нестабильность (D_t) в процентах по формуле

$$D_t = \frac{\sigma_{max} \cdot K}{E_h} \cdot 100, \qquad (26)$$

где K — энергетическая ширина канала, кэВ; E_h — энергия, соответствующая зарегистрированной во второй половине шкалы анализатора моноэнергетической линии, кэВ.

6.3.1. Для измерения времени установления рабочего режима и времени непрерывной работы альфа-спектрометра с ППД используют источник, испускающий альфа-частицы с энергиями в диапазоне от 4,5 до 8 МэВ (например неэманирующий источник на основе радия или тория с разбросом энергии не более 20 кэВ).

Измерения проводят по разд. 6, обрабатывая данные по смещению положения центроиды пика, по крайней мере, одной или двух моноэнергетических линий.

6.3.2. Для измерения времени установления рабочего режима и времени непрерывной работы гамма-спектрометра с ППД используют источники по п. 4.4. Измерение проводят по разд. 6, обрабатывая данные по смещению положения центроид двух моноэнергетических линий.

6.3.3. Для измерения времени установления рабочего режима и времени непрерывной работы рентгеновского спектрометра с ППД используют источники излучения по п. 4.5. Измерения выполняют по разд. 6, обрабатывая данные по смещению положения центроид двух моноэнергетических линий.

6.3.4. Для измерения времени установления рабочего режима и времени непрерывной работы гамма-спектрометра со сцинтилляционным детектором используют источники ^{57}Co и ^{88}Y. Измерения проводят по разд. 6, обрабатывая данные по смещению положения центроид пиков, соответствующих энергии 122 и 1836 кэВ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ОБОЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ПРИНЯТЫЕ В СТАНДАРТЕ

Наименование параметра	Обозначение
Параметры прямой линии ($y=A+Bx$)	A, B, a, b
Ширина пика полного поглощения на его полувысоте, выраженная в каналах	Δn
Относительная погрешность	δ
Значение энергии регистрируемой моноэнергетической частицы или фотона; эквивалентное значение амплитуды импульса генератора, выраженное в энергетических единицах (кэВ)	E_i
Относительное энергетическое разрешение, выраженное в процентах	$\eta_{отн}$
Абсолютное энергетическое разрешение, выраженное в энергетических единицах (эВ или кэВ)	$\eta_{абс}$
Нормировочный коэффициент, учитывающий долю зарегистрированных событий к общему числу событий (доля просчитанных событий будет равна $1-\varkappa$)	$\varkappa$
Среднее квадратическое отклонение	σ
Длительность временного интервала	τ
Постоянная времени цепи формирования импульса спектрометрического тракта	τ_f
Временная нестабильность	D_t
Энергетическая ширина канала спектра; ширина канала спектра, выраженная в энергетических единицах (эВ или кэВ)	K
Индексы, присваиваемые сопоставляемым величинам, причем всегда $l<h$	l, h
Число измерений	m
Положение центроиды пика; номер канала, в котором расположена центроида пика	n_c
Абсцисса максимума нормального распределения	n_0
Канал спектра с номером i	n_i
Число отсчетов в i-м канале спектра после вычитания фона ($N'_i=N_i-N_{fi}$)	N'_i
Число фоновых отсчетов в канале спектра	N_{fi}
Полное число отсчетов в спектре	N_Σ
Число импульсов на выходе генератора в течение времени измерения t	N_t
Число зарегистрированных спектрометром импульсов генератора в течение времени измерения t	N_γ
Входная загрузка	N_{in}
Выходная загрузка	N_{out}
Ордината максимума пика спектра; число отсчетов в максимуме пика спектра	N_{max}
Индексы, присваиваемые сопоставляемым величинам и указывающие на принадлежность к большему (b) или меньшему (S) значению определенного параметра, величины	S; b
Сумма числа отсчетов в каналах на i-м участке спектра	S_i
Время измерения	t

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМОЙ ЛИНИИ, ПРОВЕДЕННОЙ ЧЕРЕЗ СОВОКУПНОСТЬ ТОЧЕК ПО МЕТОДУ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Пусть имеется совокупность m точек с координатами $(x_i; y_i)$, причем значимость каждой точки совокупности одинакова. Через эти точки необходимо провести прямую линию

$$y = a + bx.$$

Для того, чтобы прямая линия как можно ближе соответствовала всей совокупности точек, должно быть выполнено условие минимального отклонения ординаты прямой при данной абсциссе x_i от истинной ординаты y_i или $[y_i - (a - bx_i)] \to 0$.

Это условие выполняется для всей совокупности точек, поэтому

$$\sum^{m} (y_i - a - bx_i) \to 0.$$

Полученое выражение не учитывает возможность появления больших отклонений противоположных знаков, сумма которых может быть близка к нулю. Поэтому удобнее пользоваться квадратами отклонений, имеющими только положительные значения. В этом случае обеспечивают минимизацию квадрата отклонений или

$$\sum^{m} (y_i - a - bx_i)^2 \to 0.$$

Для определения минимума этого выражения его дифференцируют по параметрам a и b, а полученные соотношения приравнивают к нулю.

Таким образом, определение параметров прямой линии a и b сводится к решению системы двух уравнений с двумя неизвестными.

$$\begin{cases} ma + b \sum^{m} x_i = \sum^{m} y_i; \\ a \sum^{m} x_i + b \sum^{m} x_i^2 = \sum^{m} x_i y_i. \end{cases} \tag{27}$$

Решив систему уравнения, получают

$$a = \frac{\sum^{m} y_i \sum^{m} x_i^2 - \sum^{m} x_i \sum^{m} x_i y_i}{m \sum^{m} x_i^2 - (\sum^{m} x_i)^2}; \tag{28}$$

$$b = \frac{m \sum^{m} x_i y_i - \sum^{m} x_i \sum^{m} y_i}{m \sum^{m} x_i^2 - (\sum^{m} x_i)^2}, \tag{29}$$

Приложение 3. **(Исключено, Изм. № 1).**

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21.04.86 № 1016

2. Срок проверки 1990 г.

3. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

4. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ:

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта, перечисления, приложения
ГОСТ 8.315—78	3.1
ГОСТ 12.3.019—80	1.1
ГОСТ 16957—80	3.1
ГОСТ 24657—81	1.2
ОСП—72/80	1.1
НРБ—76	1.1

5. Переиздание, апрель 1987 г., с Изменением № 1, утвержденным в марте 1987 г. (ИУС 6—87).

Редактор *М. В. Глушкова*
Технический редактор *Э. В. Митяй*
Корректор *С. И. Ковалева*

Сдано в наб. 14.05.87 Подп. в печ. 29.06.87 2,0 усл. п. л. 2,0 усл. кр.-отт. 1,86 уч.-изд. л. Тираж 6000 Цена 10 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., д. 3.
Вильнюсская типография Издательства стандартов, ул. Миндаугo, 12/14. Зак. 2525.

Группа Ф23

Изменение № 2 ГОСТ 26874—86 Спектрометры энергий ионизирующих излучений. Методы измерения основных параметров

Принято Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 6 от 21.10.94)

Зарегистрировано Техническим секретариатом МГС № 1330

За принятие изменения проголосовали:

Наименование государства	Наименование национального органа по стандартизации
Азербайджанская Республика	Азгосстандарт
Республика Армения	Армгосстандарт
Республика Беларусь	Госстандарт Беларуси
Грузия	Грузстандарт
Республика Казахстан	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизская Республика	Киргизстандарт
Республика Молдова	Молдовастандарт
Российская Федерация	Госстандарт России
Республика Узбекистан	Узгосстандарт
Украина	Госстандарт Украины

(Продолжение см. с. 42)

(Продолжение изменения № 2 к ГОСТ 26874—86)

Пункт 1.1. Заменить слово: «Главэнергонадзором» на «Главгосэнергонадзором»;

заменить ссылки: ОСП-72/80 на ОСП-72/87; НРБ-76 на НРБ-76/87.

Пункт 1.2. Заменить ссылку: ГОСТ 24657—81 на ГОСТ 27451—87.

Пункт 2.1. Второй абзац. Заменить слово: «спектрометров» на «параметров спектрометров»;

чертеж 1. Подрисуночная подпись. Заменить единицу физической величины: Гц на нс.

Пункт 3.1. Таблица. Графа «Характеристики».

Для генератора импульсов точной амплитуды заменить слова: «прямоугольная с длительностью фронта не более 0,05 мкс» на «прямоугольная с длительностью фронта не более 0,05 мкс и плоской части не менее 10 мкс»;

для радионуклидных источников ионизирующих излучений заменить ссылку: ГОСТ 8.315—78 на ГОСТ 8.315—91.

Пункт 3.3.2.1. Первый абзац. Заменить слова: «статистической погрешности» на «статистической погрешности (черт. 3, а)».

Пункт 3.3.3.3. Третий абзац. Заменить слова: «поэтому положение» на «а положение».

Пункт 3.3.6. Заменить обозначение: ^{233}V на ^{233}U».

(Продолжение см. с. 43)

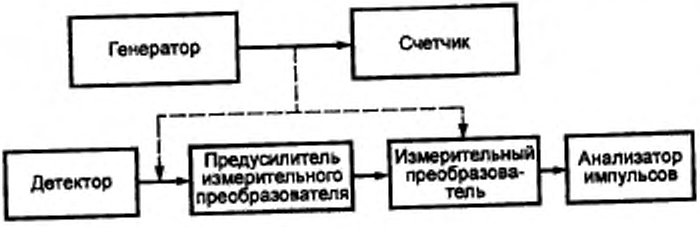
Пункт 4а.4. Последний абзац. Заменить слова: «с момента аттестации до момента измерений. Должен быть указан в НТД на спектрометр конкретного типа» на «с момента аттестации до момента измерений, указывают в НТД на спектрометр конкретного типа».

Пункт 5.1 изложить в новой редакции:

«5.1. Средства измерений и вспомогательные устройства — по п. 3.1, дополнительно: частотомер с диапазоном измеряемых частот 0 — 500 МГц».

Пункт 5.3.1.1. Чертеж 6 заменить новым:

(Продолжение см. с. 44)



Черт. 6

(ИУС № 4 1999 г.)

gost.e-ecolog.ru