

№ _____

СПЕКТРОМЕТР ЭНЕРГИИ
ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ

"ГАММА-1П"

18 592-99

методика поверки

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

ДЦКИ. 412131. 008 РЭ

- относительная влажность не более 80 %;
- атмосферное давление от 86 до 106 кПа;
- изменение номинального значения напряжения питания не должно превышать $\pm 2\%$.

10.3.2 Подготовку гамма-спектрометра к поверке и работу с ним, а также с используемыми при поверке образцовыми средствами измерения проводят в соответствии с инструкциями по их эксплуатации, "Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72-87", "Нормами радиационной безопасности НРБ-96".

10.4 Проведение поверки.

10.4.1 Внешний осмотр.

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие гамма-спектрометра следующим требованиям:

- крепление шин заземления и сетевых вилок должно быть надежно;
- комплект соединительных кабелей должен обеспечивать соединение блоков гамма-спектрометра в соответствии со схемой, кабели не должны иметь видимых повреждений;
- комплектность спектрометра должна соответствовать техническому описанию.

10.4.2 Опробование.

Опробование гамма-спектрометра проводят после истечения времени установления рабочего режима с использованием контрольных источников. При опробовании использовать программное обеспечение установленное на конкретный спектрометр.

10.4.2.1 Проверяют правильность функционирования анализаторных функций спектрометра: "Набор", "Очистка", "Стоп", задание и отработку времени экспозиции и др.

10.4.2.2 Проверяют правильность функционирования программы обработки спектров. Для этого проводят обработку спектров контрольных источников, записанных при первичной поверке гамма-спектрометра для различных геометрий. Результаты обработки сравнивают с протоколами обработки соответствующих спектров при первичной поверке.

10.4.3 Измерение метрологических характеристик

10.4.3.1 Определение энергетического диапазона и интегральной нелинейности.

Сущность метода заключается в обработке спектрометрической информации, получаемой при регистрации нескольких (не менее семи) моноэнергетических линий ионизирующего излучения, перекрывающих весь диапазон регистрации (рабочий диапазон). Источники располагают по оси детектора на таком расстоянии, при котором статистическая загрузка спектрометра не превышает 1000 имп/с. Спектр набирают поочередно от каждого источника. Число отсчетов в каждом пике полного поглощения должно быть не менее 10000.

Последовательность действий должна соответствовать ниже приведенным пунктам:

1. Отменить ранее выполненную энергетическую калибровку спектрометра и выполнить линейную калибровку, используя для этого не менее двух линий. Одна из этих линий должна находиться на уровне $0.1 \div 0.2$, другая на уровне $0.8 \div 0.9$ от верхней границы диапазона регистрируемых энергий.

2. Выполнить, с учетом изложенного выше, измерения спектров источников ^{241}Am , ^{139}Ce , ^{113}Sn , ^{65}Zn , ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{88}Y , ^{56}Co .

3. Определить с помощью программы обработки центриды измеренных линий спектра E_{ci} . Вычислить разницу и определить максимальное по модулю значение отклонения $\Delta E_{i\max}$ между измеренными значениями энергии E_{ci} и табличными значениями энергий этих же линий E_{mi} .

4. Вычислить значение интегральной нелинейности ИНЛ в процентах по формуле:

$$\text{ИНЛ} = \frac{\Delta E_{i\max}}{E_{i\max}} \times 100$$

где $E_{i\max}$ - энергия, соответствующая пику с наибольшей энергией из числа обрабатываемых.

Измерение ИНЛ спектрометра одновременно является проверкой диапазона регистрируемых энергий.

Спектрометр считается выдержавшим проверку на соответствие п.1, п.7 табл.1 раздела 3 РЭ, если вычисленное значение интегральной нелинейности (ИНЛ) соответствует заявленным значениям.

10.4.3.2 Определение энергетического разрешения.

Проверку относительного энергетического разрешения спектрометра произвести в следующей последовательности:

1. Выполнить энергетическую градуировку спектрометра с помощью калибровочных источников из набора ОСГИ.

2. Осуществить набор спектров источников ^{57}Co , ^{60}Co таким образом, чтобы интегральная статистическая загрузка тракта составляла (1000 ± 100) имп/сек, а в максимуме пика гамма-линий 122,06 кэВ и 1332,5 кэВ было не менее 2000 отсчетов.

3. Определить ширину пика полного поглощения моноэнергетической линии на его полувысоте в каналах $D_{1/2}$ графически или с использованием программного обеспечения.

4. Определить относительное энергетическое разрешение ($\eta_{\text{отн}}$) по гамма-линии 122,06 кэВ, 1332,5 кэВ с помощью рабочей программы.

Спектрометр считается выдержавшим проверку на соответствие требованию п.2., табл.1 раздела 3 РЭ, если вычисленное значение относительного энергетического разрешения соответствует требованию указанного пункта.

10.4.3.3 Измерение долговременной нестабильности ГХЭ (градуировочной характеристики по энергии), времени установления рабочего режима и времени непрерывной работы.

Проверку нестабильности характеристики преобразования спектрометра (временной нестабильности) по п.6, времени установления рабочего режима по п.4 и времени непрерывной работы по п.5 табл.1 раздела 3 РЭ проводить в следующей последовательности:

1. Повторить операции энергетической градуировки спектрометра с помощью источников из набора ОСГИ.

2. Установить два источника (^{57}Co и ^{88}Y) на такое расстояние от крышки детектора, при котором загрузка составляет не более 1000 имп/с.

3. Выключить спектрометр, и после выдержки 2ч вновь включить его.

Примечание

Разрешается не выключать спектрометр, если время выполнения подготовительных операций не превышает величину, равную времени установления рабочего режима спектрометра.

4. Спустя время равное времени установления рабочего режима спектрометра (согласно п.4 табл.1 РЭ) после включения спектрометра произвести регистрацию амплитудного распределения импульсов от источников таким образом, чтобы в максимумах пика полного поглощения гамма-линий было не менее 2000 отсчетов. Определить положения центроид пиков n_{ci} (n_{cpi} , n_{cni}), соответствующих данным нуклидам.

5. Провести еще 10 измерений по п.4 в течение времени непрерывной работы с равными интервалами (но не реже чем через 4 ч.).

Результаты измерений занести в табл.7:

Таблица 7

Номер измерения	Время	Положение пика в каналах n_{ci}	
		n_{cpi} для ^{57}Co	n_{cni} для ^{88}Y
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

6. Вычислить средние значения положений пиков полного поглощения для ^{57}Co и ^{88}Y (n_{ci}) по формуле:

$$\bar{n}_{ci} = \frac{\sum n_{ci}}{m}$$

где m - число измерений.

7. Вычислить средние квадратические отклонения для обеих центроид по формуле:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - \bar{n}_i)^2}{m-1}}$$

Из полученных значений S_i для обеих центроид выбрать максимальное S_{max} и рассчитать временную нестабильность (D_t) в процентах по формуле:

$$D_t = \frac{S_{max} \cdot B}{E_{max}} \times 100$$

где:

B - энергетическая ширина канала, кэВ;

E_{max} - энергия, соответствующая линии γ -88, кэВ.

Спектрометр считается выдержавшим проверку, если нестабильность характеристики преобразования за время непрерывной работы соответствует требованиям п.6 табл.1 РЭ.

10.4.3.4 Определение максимальной входной загрузки.

1. Установить источник ^{60}Co из комплекта ОСГИ в дистансерное устройство блока детектирования поверяемого гамма-спектрометра.

2. Органами управления спектрометра добиваются расположения пика моноэнергетической линии 1332,5 кэВ в каналах, лежащих в пределах от 75 до 80% максимального числа каналов анализатора. Первое измерение проводят при загрузке не более 1000 имп/с, измеряемой интегрированием всего регистрируемого спектра за единицу времени при помощи установленного программного обеспечения.

3. Уровень дискриминации анализатора установить равным примерно 50 кэВ. Изменение загрузки производить путем изменения расстояния между источником и детектором.

4. Произвести регистрацию спектра и определить энергетическое разрешение (η_i) и положение максимума пика полного поглощения (n_i) для линии 1332,5 кэВ, в соответствии с п.9.4.3.2 настоящей методики.

5. Увеличить входную загрузку при помощи дополнительного источника ^{60}Co , установить ее значение равным 5×10^4 имп/с. При неизменных положениях органов управления гамма-спектрометра провести регистрацию спектра. Определить энергетическое разрешение (η'_i) и положение максимума пика (n'_i).

Относительное значение изменения разрешения при изменении входной загрузки (δ_η) в процентах рассчитывают по формуле:

$$\delta_\eta = \frac{|\eta'_i - \eta_i|}{\eta_i} \times 100$$

Смещение положения максимума пика полного поглощения (δ_n) в процентах рассчитывают по формуле:

$$\delta_n = \frac{(n'_i - n_i)}{n_i} \times 100$$

Полученные значения относительного изменения разрешения не должны превышать 50% и относительное смещение пика - 0,3% при изменении входной загрузки от 10^3 с^{-1} до $5 \times 10^4 \text{ с}^{-1}$.

10.4.3.5 Определение эффективности регистрации и ее погрешности в пике полного поглощения для точечной геометрии.

1. Установить источник ^{60}Co из комплекта ОСГИ на фиксированное расстояние 25 см между источником и крышкой детектора.

2. Набрать гамма-спектры источника при помощи установленного программного обеспечения. Число отсчетов, зарегистрированных в пике полного поглощения, соответствующего регистрации гамма-излучения с энергией 1332,5 кэВ, должно быть не менее 10000. При измерениях режим экспозиции установить "по живому времени".

Определить число отсчетов, зарегистрированных в пике полного поглощения N_{Σ} , соответствующего энергии 1332,5 кэВ. Указанные измерения повторить m -раз (m - не менее шести), причем перед каждым измерением повторно устанавливают источник.

3. Значение эффективности регистрации в пике полного поглощения для данного значения энергии рассчитывают по формуле:

$$\xi_i = \frac{N_{\Sigma i} / \tau}{N_{BH} \cdot e^{-0,693 \frac{t}{T_{1/2}}}}$$

где:

N_{BH} - внешнее гамма-излучение данной энергии в угол 4π стерадиан (из свидетельства на источник);

$T_{1/2}$ - период полураспада;

t - время, прошедшее со времени аттестации;

τ - время набора спектра ("живое" время).

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

$$\bar{\xi} = \frac{\sum_{i=1}^m \xi_i}{m}$$

4. Случайную относительную погрешность определения $\bar{\xi}$ находят следующим образом. Определяют среднее квадратическое отклонение от среднего $S_{\bar{\xi}}$ по формуле (в процентах):

$$S_{\bar{\xi}} = \frac{1}{\bar{\xi}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\xi_i - \bar{\xi})^2}{m(m-1)}} \cdot 100$$

Составляющая, обусловлена не исключенными систематическими погрешностями, определяется по формуле:

$$\theta = \sqrt{(\delta_{No})^2 + (\delta_{\tau})^2 + \left(\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}} \times \delta_t\right)^2 + \left(\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}} \times \delta_{T_{1/2}}\right)^2}$$

где:

δ_{No} - погрешность внешнего гамма-излучения данного источника (из паспорта на источник);

$\delta_{T_{1/2}}, \delta_{\tau}$ - относительные погрешности, обусловленные погрешностью периода полураспада и погрешностью определения времени, прошедшего со времени аттестации до момента измерения.

Общую погрешность определения эффективности регистрации рассчитывают по формуле:

$$\delta_{\bar{\xi}} = t_g \cdot S_{\bar{\xi}} + \theta$$

где:

t_g - коэффициент Стьюдента для заданной доверительной вероятности при определенном числе измерений ($t_g = 2,45$ для числа измерений $m=6$ и доверительной вероятности $P=0,95$).

Результаты поверки считаются удовлетворительными, если значение $\bar{\xi}$ при выбранной фиксированной геометрии измерений совпадает со значением п.8 табл.1 РЭ (для этих же условий) в пределах погрешности $\delta_{\bar{\xi}}$, п.9 табл.1 РЭ.

10.4.3.6 Определение нижнего предела измеряемой активности.

Перед началом определения минимальной измеряемой активности (МИА) проделать необходимые операции по подготовке спектрометра к работе в соответствии с разделом 7 настоящего РЭ.

По истечении времени установления рабочего режима провести градуировку спектрометра по энергии и по эффективности для точечной геометрии, на расстоянии 25см от крышки детектора, используя контрольные источники из комплекта ОСГИ. Затем удалить градуировочные источники и произвести регистрацию фонового излучения за время $t_0 = 3600$ сек.

При определении МИА следует различать два случая:

1) в фоновом спектре нет гамма-линий, соответствующих интересующему нуклиду;

2) такие гамма-линии имеются.

В первом случае МИА определяют при фиксированных вероятностях ложного обнаружения пика. Во втором случае активность может быть обнаружена, если ее величина превосходит погрешность определения активности в фоновом спектре.

Таким образом, ниже приведенной формулой расчета МИА можно пользоваться независимо от того, есть пики соответствующие измеряемой активности в фоновом спектре или нет. A_{min} из приведенной формулы дает теоретический предел МИА и является характеристикой спектрометра. Очевидно, что реально нижний предел измеряемой активности будет несколько выше, так как будет зависеть от методов обработки спектров, реализованных на данном спектрометре.

По окончании набора фоновых спектров вычислить сумму отсчетов N'_{Σ} , зарегистрированных на участке спектра от n_l до n_n каналов, где $n_l = n_{i \max} - 2\Delta$, $n_n = n_{i \max} + 2\Delta$, Δ - ширина пика на полувысоте, для энергетической линии 661,66 кэВ ^{137}Cs , в каналах:

$$N'_{\Sigma} = \sum_{i=n_l}^{n_n} N'_i$$

МИА при времени $t_0=1$ час. рассчитывают по формуле:

$$A_{\min}(t_0) = \frac{200 \cdot \sqrt{N'_{\Sigma}}}{\xi(E_{\gamma}) \cdot t_0 \cdot I_{abc}}$$

где:

$\xi(E_{\gamma i})$ - значение эффективности регистрации γ -квантов, соответствующих пику полного поглощения для данного нуклида и выбранных геометрических условий;

I_{abc} - абсолютная интенсивность γ -квантов энергией $E_{\gamma i}$ данного нуклида, в процентах.

МИА для произвольного времени экспозиции t рассчитывают по формуле:

$$A_{\min}(t) = A_{\min}(t_0) \cdot \sqrt{t_0/t}$$

Полученные значения $A_{\min}(t_0)$ по соответствующим линиям должны соответствовать значениям п. 10 табл. 1 РЭ.

10.4.3.7 Определение погрешности измерения активности гамма-излучения.

Для определения погрешности $\delta_A(\delta_{N_{\gamma}})$ используют образцовые источники с известным содержанием активности A_0 конкретного нуклида или внешним излучением $N_{\gamma 0}$. Измерение параметра поверяемого спектрометра проводят в точечной геометрии. Измерения проводить для двух значений активности, определяющих диапазон измерений спектрометра по активности. При этом рекомендуется в качестве нижнего предела выбрать активность в ≈ 10 раз выше МИА данного спектрометра.

Провести измерение активности при использовании установленного программного обеспечения. Погрешность измерения активности определить по формуле:

$$\delta_A = \frac{|A_u - A_0|}{A_0} + \delta_{A_0}$$

где:

A_0, δ_{A_0} - значение активности и погрешность аттестации образцового источника;

A_u - измеренное значение активности.

Измерение погрешности $\delta_{N_{\gamma}}$ производится, по крайней мере, для трех энергий гамма-излучения: в начале, середине и конце энергетического диапазона. В качестве погрешности принимается максимальное из значений, по формуле:

$$\delta_{N_{\gamma}} = \max \left\{ \frac{|N_{\gamma i}(E_{\gamma i}) - N_{\gamma 0}(E_{\gamma i})|}{N_{\gamma 0}(E_{\gamma i})} + N_{\gamma 0}(E_{\gamma i}) \right\}$$

где:

$N_{\gamma 0}(E_{\gamma i}), \delta_{N_{\gamma 0}}(E_{\gamma i})$ - значение гамма-излучения с энергией $E_{\gamma i}$ и погрешностью образцового источника;

$N_{\gamma i}(E_{\gamma i})$ - измеренное значение гамма-излучения.

Результаты поверки считаются удовлетворительными, если $\delta_A(\delta_{N_{\gamma}})$ не превышает значений п. 11 табл. 1 РЭ.

10.5 Оформление результатов поверки.

10.5.1 Результаты первичной (периодической) поверок оформляют выдачей свидетельства установленной формы, которое заполняют в соответствии с приложением.

10.5.2 Гамма-спектрометры, не удовлетворяющие требованиям настоящей методики, к выпуску и применению не допускают. На них выдают извещение о непригодности с указанием причин.

Приложение (обязательное).

(Образец свидетельства о первичной (периодической) поверке гамма-спектрометра)

Свидетельство о метрологической поверке гамма-спектрометра "Гамма-1П" № _____

Наименование метрологических характеристик	Действительные значения метрологических характеристик
Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения, МэВ	
Интегральная нелинейность спектрометра, %	
Энергетическое разрешение по линии 122,06 кэВ (^{57}Co), кэВ 1332,5 кэВ (^{60}Co), кэВ	
Долговременная нестабильность градуировочной характеристики, %	
Временя установления рабочего режима, мин	
Эффективность регистрации в пике полного поглощения для точечной геометрии, %	
Максимальная входная нагрузка, имп/сек	
Минимальная измеряемая активность (МИА) для точечной геометрии при использовании защитного экрана и уровне внешнего гамма-фона 16 мкр/ч, за время измерения 1 час, по линии: 661,66 кэВ (^{137}Cs), Бк	
Погрешность измерения активности для точечной геометрии, %	

При поверке использованы:

- точечные источники из набора ОСГИ, паспорт № _____, с

активностью: _____

По результатам поверки гамма-спектрометр "Гамма-1П" № _____ может быть использован в качестве рабочего средства измерений до _____ (дата).

Исполнители: _____
(подписи, фамилия, имя, отчество)