

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального директора по

метрологии

ФБУ «УРАЛТЕСТ»



Д. Г. Дедков

М.п.

«26»

ноября 2025 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Спектрометры гамма-излучения стационарные СЕГ-Э

Методика поверки

МП 4101-1/0497-2025

Екатеринбург

2025

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки спектрометров гамма-излучения стационарных СЕГ-Э (далее – СЕГ-Э), используемых в качестве рабочих средств измерений.

1.2 При проведении поверки обеспечивается прослеживаемость поверяемых СЕГ-Э к Государственному первичному эталону активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников ГЭТ 6-2016 в соответствии с ГОСТ 8.033-2023 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников» (далее – ГОСТ 8.033).

1.3 Методика поверки реализуется методом прямых измерений величин, воспроизводимых эталоном.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки СЕГ-Э должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Операции поверки

Наименование операции	Номер раздела (пункта) методики поверки	Обязательность проведения операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
Внешний осмотр средства измерений	7	да	да
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	8	да	да
Проверка программного обеспечения средства измерений	9	да	да
Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	10	-	-
Проверка диапазона регистрируемых энергий гамма-излучения и определение относительной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности (ИНЛ))	10.1	да	да
Определение энергетического разрешения по линии 1332,5 кэВ радионуклида Co-60	10.2	да	да
Определение эффективности регистрации в пике полного поглощения в точечной геометрии на расстоянии 250 мм от эффективного центра детектора для радионуклидов Co-57 по линии с энергией 122,06 кэВ, Co-60 по линии с энергией 1332,5 кэВ	10.3	да	да
Определение долговременной нестабильности за 24 ч непрерывной работы	10.4	да	нет

2.2 Не допускается поверка СЕГ-Э для меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений.

2.3 При получении отрицательных результатов при выполнении любой из операций поверка прекращается, СЕГ-Э признают непригодной к применению.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха: от плюс 15 до плюс 25 °С;
- относительная влажность воздуха: от 30 до 80 %;
- атмосферное давление: от 84,0 до 106,7 кПа;
- напряжение сети переменного тока: от 198 до 242 В;
- частота сети переменного тока: от 49 до 51 Гц.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

К проведению поверки допускаются лица, изучившие эксплуатационную документацию на СЕГ-Э, эталоны, средства измерений, применяемые при поверке, имеющие необходимую квалификацию, аттестованные в качестве поверителей.

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки должны применяться средства поверки, приведенные в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п.8.1 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне от плюс 15 до плюс 25 °С с абсолютной погрешностью не более 1 °С; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 до 80 % с абсолютной погрешностью не более 3 %; Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 84,0 до 107,0 кПа с абсолютной погрешностью не более 3 гПа;	Прибор комбинированный для контроля параметров окружающей среды MeteoSmart, рег. № 76455-19
	Средства измерений интервалов времени от 0 до 5 ч с абсолютной погрешностью не более 1 с	Секундомер электронный Интеграл С-01, рег. № 44154-16
	Средства измерений напряжения переменного тока от 0 до 300 В с приведенной погрешностью в пределах ± 3 %; Средства измерений частоты переменного тока от 0 до 63 Гц с приведенной погрешностью в пределах $\pm 1,5$ %	Прибор электроизмерительный цифровой (мультиметр) ИМС-Ф1, рег. № 49681-12

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 10.1 Проверка диапазона регистрируемых энергий гамма-излучения и определение относительной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности (ИНЛ))	Рабочие эталоны не ниже 1-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.033, с относительной погрешностью не более 3 % (источники радионуклидные гамма-излучения ОСГИ с радионуклидами Co-60, Co-57, Th-228, Am-241 активностью не менее 10^3 Бк)	Источники радионуклидные закрытые фотонного излучения эталонные ОСГИ-РТ, рег. № 74005-19
	Средства измерений времени от 0 до 5 ч с абсолютной погрешностью не более 1 с	Секундомер электронный Интеграл С-01, рег. № 44154-16
п. 10.2 Определение энергетического разрешения по линии 1332,5 кэВ радионуклида Co-60	Рабочий эталон не ниже 1-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.033, с относительной погрешностью не более 3 % (источник радионуклидный гамма-излучения ОСГИ с радионуклидом Co-60 активностью не менее 10^3 Бк)	Источник радионуклидный закрытый фотонного излучения эталонный ОСГИ-РТ, рег. № 74005-19
	Средства измерений времени от 0 до 5 ч с абсолютной погрешностью не более 1 с	Секундомер электронный Интеграл С-01, рег. № 44154-16
п. 10.3 Определение эффективности регистрации в пике полного поглощения в точечной геометрии на расстоянии 250 мм от эффективного центра детектора для радионуклидов Co-57 по линии с энергией 122,06 кэВ, Co-60 по линии с энергией 1332,5 кэВ	Рабочие эталоны не ниже 1-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.033, с относительной погрешностью не более 3 % (источники радионуклидные гамма-излучения ОСГИ с радионуклидами Co-60, Co-57 активностью не менее 10^3 Бк)	Источники радионуклидные закрытые фотонного излучения эталонные ОСГИ-РТ, рег. № 74005-19
	Средства измерений времени от 0 до 5 ч с абсолютной погрешностью не более 1 с	Секундомер электронный Интеграл С-01, рег. № 44154-16
	Средства измерений длины в диапазоне от 0 до 1 м с абсолютной погрешностью не более 0,5 мм	Линейка измерительная металлическая, рег. № 66266-16
п. 10.5 Определение долговременной нестабильности за 24 ч непрерывной работы	Рабочие эталоны не ниже 1-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.033, с относительной погрешностью не более 3 % (источники радионуклидные гамма-излучения ОСГИ с радионуклидами Th-228, Am-241 активностью не менее 10^3 Бк (далее - источники ОСГИ))	Источники радионуклидные закрытые фотонного излучения эталонные ОСГИ-РТ, рег. № 74005-19
	Средства измерений времени от 0 до 5 ч с абсолютной погрешностью не более 1 с	Секундомер электронный Интеграл С-01, рег. № 44154-16

5.2 Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице 5.1.

6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки необходимо соблюдать требования безопасности, предусмотренные «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП)» и «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭЭ)», ГОСТ 12.2.007.0-75, ОСПОРБ-99/2010, НРБ-99/2009, а также приведенные в эксплуатационной документации СЕГ-Э и используемых средств поверки.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 При проведении внешнего осмотра СЕГ-Э следует убедиться в отсутствии механических повреждений и дефектов, влияющих на его метрологические характеристики.

7.2 Комплектность СЕГ-Э должна соответствовать описанию типа.

7.3 Внешний вид СЕГ-Э должен соответствовать описанию и изображению, приведенному в описании типа.

7.4 Результаты внешнего осмотра считают положительными, если выполняются требования, указанные в 7.1 - 7.3.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Подготовка к поверке

8.1.1 Проверяют соблюдение условий на соответствие с разделом 3.

8.1.2 Подготавливают к работе средства поверки в соответствии с их эксплуатационной документацией.

8.1.3 СЕГ-Э подготавливают к работе в соответствии с Руководством по эксплуатации и техническому обслуживанию (далее – РЭ).

8.2 Опробование

8.2.1 После включения СЕГ-Э необходимо проверить работоспособность в соответствии с «Спектрометр гамма-излучения стационарный СЕГ-Э. Программное обеспечение для сбора и анализа спектра GammaWiz. Руководство оператора».

8.3 Результаты подготовки к поверке и опробования считают положительными, если выполняются требования, указанные в 8.1 и 8.2.

9 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

9.1 Проверку идентификационных данных прикладного программного обеспечения (далее – ПО) СЕГ-Э проводят путем считывания номера версии, отображаемого при запуске ПО «GammaWiz».

9.2 Результаты проверки ПО считают положительными, если идентификационные данные прикладного ПО (номер версии) соответствуют значениям, приведенным в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Идентификационные данные прикладного ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Номер версии (идентификационный номер) ПО	2.X.Y.Z *
* Значения «X» от 0 до 99, «Y» - от 0 до 99, «Z» - от 0 до 99. Актуальный номер версии вносится в паспорт при выпуске из производства	

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

10.1 Проверка диапазона регистрируемых энергий гамма-излучения и определение относительной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности (ИНЛ))

10.1.1 На центр торца детектора полупроводникового с очень чистым германием (далее - ОЧГ), поочередно установить источники ОСГИ (Am-241 (59,5 кэВ), Co-57 (122,06 кэВ), Co-60 (1173,2 кэВ, 1332,5 кэВ), Th-228 (238,63 кэВ, 510,7 кэВ, 2614,5 кэВ)), сочетание которых обеспечивает регистрацию не менее семи пиков полного поглощения в диапазоне регистрируемых энергий гамма-излучения от 50 до 3000 кэВ. Статистическая загрузка СЕГ-Э от каждого источника ОСГИ не должна превышать 1000 имп·с⁻¹.

10.1.2 Включить СЕГ-Э и после установления рабочего режима начать набор спектра с помощью прикладного ПО «GammaWiz». Длительность экспозиции установить из условия, чтобы число импульсов в каждом пике полного поглощения было не менее 10000 имп.

10.1.3 По окончании набора, установить курсором маркер в центроиду пика и считать информацию об измеренной энергии пика полного поглощения (канал, энергия).

10.1.4 Для каждого пика рассчитать отклонение ΔE_{ti} , кэВ, измеренного значения энергии E_{mi} , кэВ, от табличного значения E_{ti} , кэВ, по формуле

$$\Delta E_{ti} = |E_{ti} - E_{mi}| \quad (1)$$

10.1.5 Выбрать максимальное значение $\Delta E_{ti}^{\max}$, кэВ, из полученных разностей и рассчитать интегральную нелинейность ИНЛ, %, по формуле

$$\text{ИНЛ} = \frac{\Delta E_{ti}^{\max}}{E_{\max}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $E_{\max}$ – энергия, соответствующая пику с наибольшей энергией из числа обрабатываемых, кэВ (т.е. это измеренная энергия Th-228).

10.1.6 Определение интегральной нелинейности одновременно является проверкой диапазона регистрируемых энергий.

10.1.7 Результаты поверки по п.10.1 считают положительными, если значение ИНЛ, рассчитанное по формуле (2), не превышает предела допускаемой относительной погрешности характеристики интегральной нелинейности, приведенного в таблице А.1.

10.2 Определение энергетического разрешения по линии 1332,5 кэВ радионуклида Co-60

10.2.1 На центр торца детектора полупроводникового с ОЧГ, установить источник ОСГИ Co-60 (1332,5 кэВ). Статистическая загрузка СЕГ-Э от источника ОСГИ не должна превышать 1000 имп·с⁻¹.

10.2.2 Включить СЕГ-Э и после установления рабочего режима начать набор спектра с помощью прикладного ПО «GammaWiz». Длительность экспозиции установить из условия, чтобы обеспечить площадь пика с энергией 1332,5 кэВ не менее 2000 имп.

10.2.3 По окончании набора, установить курсором маркер в центроиду пика и считать информацию об измеренной полуширине на полувысоте FWHM, кэВ, и энергию пика.

10.2.4 Рассчитать энергетическое разрешение, $\eta_{\text{отн}}$, %, по формуле

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{\text{FWHM}}{E_{mi}} \cdot 100 \quad (3)$$

10.2.5 Результаты поверки по п.10.2 считают положительными, если энергетическое разрешение по линии 1332,5 кэВ радионуклида Со-60, рассчитанное по формуле (3), не превышает допускаемого значения, приведенного в таблице А.1.

10.3 Определение эффективности регистрации в пике полного поглощения в точечной геометрии на расстоянии 250 мм от эффективного центра детектора для радионуклидов Со-57 по линии с энергией 122,06 кэВ, Со-60 по линии с энергией 1332,5 кэВ

10.3.1 На расстоянии 250 мм от торца детектора полупроводникового с ОЧГ, поочередно установить источники ОСГИ (Со-57 (122,06 кэВ), Со-60 (1332,5 кэВ)).

10.3.2 Включить СЕГ-Э и после установления рабочего режима начать набор спектра с помощью прикладного ПО «GammaWiz». Длительность экспозиции установить из условия, чтобы число импульсов в каждом пике полного поглощения было не менее 10000 имп·с⁻¹.

Количество измерений m не менее 6 с каждым источником ОСГИ.

10.3.3 По окончании набора спектра, установить курсором маркер в центроиду пика и считать информацию о количестве отсчётов, зарегистрированных в пике полного поглощения I соответствующей энергии.

10.3.4 Значение эффективности регистрации ε_i , (имп·с⁻¹)/Бк, в пике полного поглощения рассчитать по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{I_i}{A \cdot \tau_i \cdot \exp^{-0.698 \frac{t}{T_{1/2}}}}, \quad (4)$$

где A – значение активности источника ОСГИ (из свидетельства о поверке или протокола поверки на источник ОСГИ), Бк;

$T_{1/2}$ – период полураспада, лет;

t – время, прошедшее со времени последней поверки, лет;

τ_i – время набора спектра, с.

10.3.5 Рассчитать среднее значение эффективности регистрации в пике полного поглощения $\bar{\varepsilon}$, (имп·с⁻¹)/Бк, по формуле

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^m \varepsilon_i}{m} \quad (5)$$

10.3.6 Результаты поверки по п.10.3 считают положительными, если эффективность регистрации в пике полного поглощения в точечной геометрии на расстоянии 250 мм, рассчитанная по формуле (5), не менее допускаемых значений, приведенных в таблице А.1.

10.4 Определение долговременной нестабильности за 24 ч непрерывной работы

10.4.1 На центр торца детектора полупроводникового с ОЧГ, поочередно установить источники ОСГИ (Am-241 (59,5 кэВ), Th-228 (2614,5 кэВ)). Статистическая загрузка СЕГ-Э от каждого источника ОСГИ не должна превышать 1000 имп·с⁻¹.

10.4.2 Включить СЕГ-Э и после установления рабочего режима начать набор спектра с помощью прикладного ПО «GammaWiz». Длительность экспозиции установить из условия, чтобы число импульсов в каждом пике полного поглощения было не менее 10000 имп.

10.4.3 В течение 24 ч через равные промежутки времени провести 10 измерений. Интервалы времени фиксировать с помощью секундомера.

10.4.4 Через фиксированные интервалы времени, установить курсором маркеры в центроиды пиков и считать информацию о центроидах пиков полного поглощения N_1 и N_2 (каналы) и измеренных энергиях в пиках полного поглощения E_1 и E_2 , кэВ.

10.4.5 Рассчитать средние значения центроид пиков полного поглощения $\bar{N}_1$ и $\bar{N}_2$ для Am-241 и Th-228 по формулам

$$\overline{N}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n N_{1i}}{n}, \quad \overline{N}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n N_{2i}}{n}, \quad (6)$$

где n – количество измерений.

10.4.6 Рассчитать средние значения измеренных энергий в пиках полного поглощения $\overline{E}_1$ и $\overline{E}_2$ для Am-241 и Th-228 по формулам

$$\overline{E}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n E_{1i}}{n}, \quad \overline{E}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n E_{2i}}{n}, \quad (7)$$

10.4.7 Рассчитать средние квадратические отклонения S_1 и S_2 , %, каждой центроиды по формулам

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_{1i} - \overline{N}_1)^2}{n(n-1)}}, \quad S_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_{2i} - \overline{N}_2)^2}{n(n-1)}} \quad (8)$$

Выбрать максимальное из полученных значений $S_{\max}$, %.

10.4.8 Рассчитать долговременную нестабильность D_t , %, по формуле

$$D_t = \frac{S_{\max} \cdot K}{E_{\max}} \cdot 100, \quad (9)$$

где $E_{\max}$ – энергия, соответствующая линии Th-228 (2614,5 кэВ);

K – энергетическая ширина канала спектра, кэВ/канал, рассчитываемая по формуле

$$K = \frac{\overline{E}_2 - \overline{E}_1}{\overline{N}_2 - \overline{N}_1} \quad (10)$$

10.4.9 Результаты поверки по п.10.4 считают положительными, если долговременная нестабильность за 24 ч непрерывной работы, рассчитанная по формуле (9), не превышает допустимого значения, приведенного в таблице А.1.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 По результатам поверки оформляют протокол поверки в произвольной форме.

11.2 Положительные результаты поверки СЕГ-Э оформляют в виде электронной записи, передаваемой в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, и по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке.

11.3 Отрицательные результаты поверки СЕГ-Э оформляют в виде электронной записи, передаваемой в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, и по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается извещение о непригодности.

Приложение А
(обязательное)

Таблица А.1 – Метрологические характеристики СЕГ-Э

Наименование характеристики	Значение		
	Е-10	Е-20	Е-30
Энергетическое разрешение по линии 1332,5 кэВ радионуклида Со-60, %, не более	0,30		
Предел допускаемой относительной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности (ИНЛ)), %, не более	0,02		
Долговременная нестабильность за 24 ч непрерывной работы, %, не более	0,10		
Энергетическое разрешение по линии 1332,5 кэВ радионуклида Со-60, %, не более	0,30		
Эффективность регистрации в пике полного поглощения в точечной геометрии на расстоянии 250 мм от эффективного центра детектора, (имп·с ⁻¹)/Бк, не менее:			
- для радионуклида Со-57 по линии с энергией 122,06 кэВ	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
- для радионуклида Со-60 по линии с энергией 1332,5 кэВ	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$