

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор  
ООО «НИЦ «ЛСРМ»

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель

генерального директора ФБУ

«УРАЛТЕСТ» по метрологии,  
руководитель службы по обеспечению  
единства измерений ФБУ «УРАЛТЕСТ»

А.В. Пономаренко

инициалы, фамилия

Ю.М. Суханов

инициалы, фамилия



07

2020 г.



07

2020 г.

**Государственная система обеспечения единства измерений.  
УСТАНОВКИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО И  
ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ СЕГР-МСА527**

**МЕТОДИКА ПОВЕРКИ  
ЛСРН. 414411.005 МП**

Инд. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

2020

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение .....	3
1	Операции поверки .....	4
2	Средства поверки .....	5
3	Требования безопасности .....	7
4	Условия поверки .....	7
5	Подготовка к поверке .....	7
6	Проведение поверки и обработка результатов измерений .....	8
7	Оформление результатов поверки .....	16

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата





Изм. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Изм. № подл.

ЛСРН. 414411.005 МП

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		Литера	Лист	Листов
					Государственная система обеспечения единства измерений.			
Разраб.		Лебедева		01.06.20	Установки спектрометрические рентгеновского и гамма-излучения СЕГР-МСА527. Методика поверки	ООО «НИЦ «ЛСРМ»	2	17
Пров.		Лебедев		01.06.20				
Т. контр.								
Н. контр.		Найко		01.06.20				
Утв.		Пономаренко		21.07.20				

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящая методика поверки устанавливает порядок первичной и периодической поверки установок спектрометрических рентгеновского и гамма-излучения СЕГР-МСА527 (далее – СЕГР-МСА527), изготавливаемых ООО «НИЦ «ЛСРМ», г. Москва, г. Зеленоград.

Первичную и периодическую поверку СЕГР-МСА527 проводят лица, аккредитованные на право поверки в соответствии с действующим законодательством.

Поверке подлежат все вновь выпускаемые, выходящие из ремонта и находящиеся в эксплуатации СЕГР-МСА527.

Первичная поверка проводится при выпуске вновь произведенных изделий, а также при выпуске их из ремонта, влияющего на метрологические характеристики.

Периодическая поверка производится в эксплуатирующей организации.

Интервал между поверками один год.

СЕГР-МСА527 выпускается в следующих исполнениях:

- исполнение базовое: СЕГР-МСА527-СЦ со сцинтилляционным блоком детектирования на основе иодида натрия/цезия, активированного таллием  $\text{NaI(Tl)/CsI(Tl)}$ ;
- исполнение 01: СЕГР-МСА527-СЦ со сцинтилляционным блоком детектирования на основе бромида церия/лантана  $\text{CeBr}_3/\text{LaBr}_3$ ;
- исполнение 02: СЕГР-МСА527-CZT с полупроводниковым блоком детектирования на основе теллурида кадмия и цинка  $\text{CdZnTe}$ ;
- исполнение 03: СЕГР-МСА527-ППД с полупроводниковым блоком детектирования на основе сверхчистого германия.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						Лист
										3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЛСРМ. 414411.005 МП					

## 1 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

1.1 При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень операций при проведении поверки

Наименование операции	Номер пункта документа по поверке	Проведение операций при	
		первичной поверке	периодической поверке
1 Внешний осмотр	6.1	Да	Да
2 Опробование	6.2	Да	Да
3 Определение диапазона энергий регистрируемого рентгеновского и гамма-излучения и основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)	6.3.1	Да	Да
4 Определение относительного энергетического разрешения СЕГР-МСА527-СЦ и СЕГР-МСА527-СЗТ по линии гамма-излучения с энергией 661,6 кэВ	6.3.2	Да	Да
5 Определение абсолютного энергетического разрешения СЕГР-МСА527-ППД по линии гамма-излучения с энергией 122 кэВ, 1332 кэВ	6.3.3	Да	Да
6 Определение эффективности регистрации СЕГР-МСА527-СЦ и СЕГР-МСА527-СЗТ в пике полного поглощения с энергией 661,6 кэВ для точечной геометрии измерений	6.3.4	Да	Нет
7 Определение относительной эффективности регистрации СЕГР-МСА527-ППД в пике полного поглощения с энергией 1332 кэВ для точечной геометрии измерений на расстоянии источник - детектор 250 мм	6.3.5	Да	Нет
8 Определение нижнего предела измеряемой активности радионуклида Cs-137	6.3.6	Да	Да
9 Определение относительной погрешности измерений активности точечного источника	6.3.7	Да	Да

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Продолжение таблицы 1

Наименование операции	Номер пункта документа по поверке	Проведение операций при	
		первичной поверке	периодической поверке
10 Определение нестабильности характеристики преобразования за время непрерывной работы 24 часа	6.3.8	Да	Нет
11 Оформление результатов поверки	6	Да	Да

1.2 Поверка СЕГР-МСА527 осуществляется в полном объеме. Не допускается проведение поверки меньшего числа измеряемых величин и меньших диапазонов измерений.

1.3 В случае выявления несоответствия требованиям в ходе выполнения любой операции, указанной в таблице 1, средство измерений бракуется, поверка прекращается, и на него оформляют извещение о непригодности.

## 2 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

2.1 При проведении поверки применяются основные и вспомогательные средства поверки, приведенные в таблицах 2 и 3, и программное обеспечение для спектрометрических измерений серии WinSpec-R или SpectraLineGP из комплекта поставки комплекса спектрометрического программного обеспечения рабочего места оператора «СПОРО».

2.2 Все средства поверки должны быть поверены и иметь действующие свидетельства о поверке.

Таблица 2 – Перечень основных средств поверки

Номер пункта документа по поверке	Наименование и тип (условное обозначение) основного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
6.2	Источник фотонного ионизирующего излучения радионуклидный закрытый ОСГИ-А Cs-137 активностью ( $2 \cdot 10^3 - 10^5$ ) Бк, пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения активности ( $P=0,95$ ) $\pm 6 \%$
6.3.1	Источники фотонного ионизирующего излучения радионуклидные закрытые ОСГИ-А Am-241, Cs-137, Co-57, Co-60, Eu-152, Th-228 или Th-232 активностью ( $2 \cdot 10^3 - 10^5$ ) Бк, пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения активности ( $P=0,95$ ) $\pm 6 \%$
6.3.2	Источник фотонного ионизирующего излучения радионуклидный закрытый ОСГИ-А Cs-137 активностью ( $2 \cdot 10^3 - 10^5$ ) Бк, пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения активности ( $P=0,95$ ) $\pm 6 \%$

Изн. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

Продолжение таблицы 2

Номер пункта документа по поверке	Наименование и тип (условное обозначение) основного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
6.3.3	Источники фотонного ионизирующего излучения радионуклидные закрытые ОСГИ-А Co-60, Co-57 или Eu-152 активностью ( $2 \cdot 10^3 - 10^5$ ) Бк, пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения активности ( $P=0,95$ ) $\pm 6\%$
6.3.4	Источник фотонного ионизирующего излучения радионуклидный закрытый ОСГИ-А Cs-137 активностью ( $2 \cdot 10^3 - 10^5$ ) Бк, пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения активности ( $P=0,95$ ) $\pm 6\%$
6.3.5	Источник фотонного ионизирующего излучения радионуклидный закрытый ОСГИ-А Co-60 активностью ( $2 \cdot 10^3 - 10^5$ ) Бк, пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения активности ( $P=0,95$ ) $\pm 6\%$
6.3.6	Источники фотонного ионизирующего излучения радионуклидные закрытые ОСГИ-А Am-241, Cs-137, Co-57, Co-60, Eu-152, Th-228 или Th-232 активностью ( $2 \cdot 10^3 - 10^5$ ) Бк, пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения активности ( $P=0,95$ ) $\pm 6\%$
6.3.7	Источники фотонного ионизирующего излучения радионуклидные закрытые ОСГИ-А Cs-137 активностью ( $2 \cdot 10^3 - 10^6$ ) Бк, пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения активности ( $P=0,95$ ) $\pm 6\%$
6.3.8	Источники фотонного ионизирующего излучения радионуклидные закрытые ОСГИ-А Am-241, Cs-137, Co-60 активностью ( $2 \cdot 10^3 - 10^5$ ) Бк, пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения активности ( $P=0,95$ ) $\pm 6\%$
Примечание - Допускается использование других средств поверки с аналогичными характеристиками, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью.	

Таблица 3 – Перечень вспомогательных средств поверки

Номер пункта документа по поверке	Наименование и тип (условное обозначение) вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
6.3.1 - 6.3.8	Термометр лабораторный, цена деления $0,1\text{ }^\circ\text{C}$ , диапазон измерений от 1 до $40\text{ }^\circ\text{C}$
6.3.1 - 6.3.8	Гигрометр, диапазон измерений относительной влажности от 20 до 90 %, пределы допускаемой относительной погрешности гигрометра не более $\pm 5\%$
6.3.1 - 6.3.8	Барометр-анероид, цена деления 1 кПа, диапазон измерений от 60 до 120 кПа

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм. № подл.	Подпись и дата	Изм. № дубл.	Подпись и дата

Продолжение таблицы 3

Номер пункта документа по поверке	Наименование и тип (условное обозначение) вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
6.2, 6.3.2-6.3.5, 6.3.7	Дистансерное устройство, обеспечивающее размещение источника на заданном расстоянии
6.2, 6.3	Программное обеспечение для спектрометрических измерений серии WinSpec-R или SpectraLineGP из комплекта поставки комплекса спектрометрического программного обеспечения рабочего места оператора «СПОРО»

**3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

3.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009», СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)», ГОСТ 12.2.007.0-75, «Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок», утвержденных Приказом от 24.07.2013 № 328н.

3.2 При проведении поверки должны соблюдаться требования безопасности, действующие на предприятии, а также изложенные в эксплуатационной документации на изделие.

3.3 При проведении поверки лица, работающие с СЕГР-МСА527, должны пройти предварительное медицинское освидетельствование, быть допущенными к работе с источниками ионизирующих излучений.

**4 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ**

4.1 Условия поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С от 15 до 25;
- относительная влажность, % от 30 до 80;
- атмосферное давление, кПа от 84,0 до 106,7;
- мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, мкЗв/ч, не более 0,20.

4.2 Вибрация, тряска, удары, влияющие на работу СЕГР-МСА527, должны отсутствовать.

4.3 Первичная поверка СЕГР-МСА527 должна выполняться в чистом помещении, не содержащем источников, сходных по составу излучения с предполагаемым излучением радионуклидов, имеющихся в эталонных источниках.

**5 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ**

5.1 Поверитель должен изучить руководство по эксплуатации поверяемой СЕГР-МСА527 и используемых средств поверки.

5.2 Провести подготовку СЕГР-МСА527 к поверке согласно указаниям раздела 2 руководства по эксплуатации (далее – РЭ).

Изн. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Подпись и дата
Инв. № дубл.	Подпись и дата
Подпись и дата	Подпись и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЛСРН. 414411.005 МП	Лист 7

5.3 Средства измерений и испытательное оборудование, применяемые при поверке, должны быть аттестованы или поверены в установленном порядке и подготовлены к работе согласно эксплуатационной документации на них.

5.4 Монтаж СЕГР-МСА527 допускается по истечении 24 часов выдержки в помещении в нормальных условиях по п. 4.1 после распаковки.

Установить устройства СЕГР-МСА527 в рабочее положение. Обеспечить охлаждение СЕГР-МСА527-ППД до эксплуатационной температуры в течение не менее 8 часов. Подключить питание СЕГР-МСА527 и выдержать в рабочем положении в течение 15 минут.

5.5 Перед проведением поверки должны быть подготовлены вспомогательные устройства, необходимые при поверке - дистансерное устройство, обеспечивающие позиционирование источника фотонного ионизирующего излучения радионуклидного закрытого ОСГИ-А (далее - источника ОСГИ-А) на расстоянии 50 и 250 мм от чувствительной части блока детектирования спектрометрического измерительного канала СЕГР-МСА527.

5.6 Обработка результатов измерений, управление процессами регистрации и накопления спектров гамма-излучения обеспечиваются персональным компьютером с предустановленным программное обеспечение для спектрометрических измерений серии WinSpec-R или SpectraLineGP из комплекта поставки комплекса спектрометрического программного обеспечения рабочего места оператора «СПОРО» (далее СПО).

## 6 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

### 6.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре устанавливают соответствие СЕГР-МСА527 следующим требованиям:

- комплектность, исполнение, заводской номер СЕГР-МСА527 должны соответствовать данным комплектности СЕГР-МСА527, указанной в паспорте изделия;
- внешний вид, маркировка и пломбирование должны соответствовать требованиям руководства по эксплуатации СЕГР-МСА527 и эксплуатационных документов на технические средства, входящие в его состав;
- на комплектующих изделиях не должно быть механических повреждений, препятствующих применению;
- надписи и обозначения СЕГР-МСА527 должны быть четкими и соответствовать требованиям эксплуатационной документации.

### 6.2 Опробование

Опробование СЕГР-МСА527 и идентификацию программного обеспечения провести после истечения времени установления рабочего режима в следующем порядке:

1) При наличии в комплекте поставки электронного ключа защиты СПО от несанкционированного доступа установить ключ в порт USB ПК, загрузить СПО. Включить СЕГР-МСА527 в режиме набора спектра согласно указаниям РЭ.

2) Разместить в дистансерном устройстве источник ОСГИ-А Cs-137. Набрать не менее двух спектров в течение 15 минут.

3) Провести идентификацию программного обеспечения.

Войти в основное меню СПО, открыть закладку «Справка/О программе» и проверить полученную информацию на соответствие требованиям руководства по эксплуатации. При

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	8	
												ЛСРН. 414411.005 МП



идентификации СПО проверить соответствие идентификационного наименования СПО и номер версии (идентификационный номер) СПО, указанных в разделе «Программное обеспечение» РЭ СЕГР-МСА527, и выводимых в окне интерфейса пользователя;

Цифровой идентификатор программного обеспечения (контрольная сумма исполняемого кода) не нормируется и указывается для текущего номера версии СПО.

4) Убедиться в том, что происходит накопление спектров - считать спектры в СПО. Форма пика амплитудного распределения должна быть близкой к симметричной и описываться плавной огибающей кривой, что свидетельствует о регистрации гамма-излучения источника ОСГИ-А спектрометрическим каналом СЕГР-МСА527.

### 6.3 Определение метрологических характеристик

6.3.1 Определение диапазона энергий регистрируемого рентгеновского и гамма-излучения и основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)

Определение провести в следующем порядке:

1) Провести измерения спектров источников ОСГИ-А на основе нуклидов Am-241, Co-57, Co-60, Cs-137, Eu-152, Th-228 или Th-232.

Активность каждого источника должна обеспечивать скорость счета в диапазоне от 250 до 1000 имп·с<sup>-1</sup>. Регистрировать результаты не менее трех измерений энергетического разрешения по семи пикам полного поглощения, равномерно распределенных в диапазоне регистрируемых энергий фотонного излучения, используя для идентификации пиков данные таблицы 4. В максимуме пика полного поглощения указанных гамма-линий, набрать не менее 2000 отсчетов.

Таблица 4

i	Энергия пика E <sub>i</sub> , кэВ	Радионуклид
1	6,4	Co-57
2	14,4	Co-57
3	59,536	Am-241
4	121,782	Eu-152
5	122,0	Co-57
6	136,5	Co-57
7	344,281	Eu-152
8	661,6	Cs-137
9	1173,22	Co-60
10	1332,51	Co-60
11	1408,01	Eu-152
12	2614,5	Th-228 или Th-232

При определении энергетического разрешения и интегральной нелинейности СЕГР-МСА-527-СЦ допускается сдвиг центроид пиков полного поглощения ±20 каналов.

Сохранить спектры в памяти ПК.

2) Провести энергетическую калибровку спектрометрического измерительного канала СЕГР-МСА527 с использованием СПО и указаний руководства по эксплуатации, получив численное значение интегральной нелинейности (ИНЛ).

Изн. № годл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата

3) Результаты поверки считать положительными, если основная погрешность характеристики преобразования (интегральная нелинейность) не более:

±0,5 % для СЕГР-МСА-527 исполнений СЕГР-МСА527-СЦ, СЕГР-МСА527-СЗТ,

±0,025 % для СЕГР-МСА-527 исполнения СЕГР-МСА527-ППД.

Положительные результаты измерений ИНЛ источников ОСГИ-А, обеспечивающих регистрацию не менее семи пиков полного поглощения, равномерно распределенных в диапазоне регистрируемых энергий СЕГР-МСА527, являются положительными результатами поверки диапазона регистрируемых энергий.

### 6.3.2 Определение относительного энергетического разрешения СЕГР-МСА527-СЦ и СЕГР-МСА527-СЗТ по линии гамма-излучения с энергией 661,6 кэВ

Определение провести в следующем порядке:

1) Провести набор спектра с использованием источника ОСГИ-А на основе Cs-137, расположив его в дистансерном устройстве на расстоянии, обеспечивающем скорость счета в диапазоне от 250 до 1000 имп·с<sup>-1</sup>. В максимуме пика полного поглощения гамма-линии с энергией 661,6 кэВ необходимо набрать не менее 2000 отсчетов.

2) Определить ширину пика полного поглощения (далее - ППП) моноэнергетической линии 661,6 кэВ на его полувысоте  $\eta_{абс}$  с использованием СПО или графически по формуле (1):

$$\eta_{абс} = \Delta n \cdot B, \quad (1)$$

где  $\eta_{абс}$  – абсолютное энергетическое разрешение спектрометрического измерительного канала СЕГР-МСА527, в программном обеспечении обозначаемое «ППШВ» - полная ширина ППП на полувысоте, кэВ;

$\Delta n$  – ширина на полувысоте ППП, канал;

$B$  – энергетическая ширина канала аналого-цифрового преобразователя СЕГР-МСА527, кэВ/канал, определяемая в СПО или по формуле (2)

$$B = \frac{E_2 - E_1}{\bar{n}_2 - \bar{n}_1}, \quad (2)$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – энергии, кэВ, регистрируемые соответственно в  $n_1$ -м и  $n_2$ -м каналах анализатора.

Зарегистрировать не менее трех результатов абсолютного энергетического разрешения ППП с энергией 661,6 кэВ. Рассчитать среднее арифметическое значение результатов измерений.

3) Определить относительное энергетическое разрешение СЕГР-МСА527,  $\eta_{отн}$ , %, по гамма-линии с энергией 661,6 кэВ с помощью СПО или по формуле (3)

$$\eta_{отн} = (\eta_{абс} / E) \cdot 100, \quad (3)$$

где  $E$  – значение энергии пика полного поглощения, кэВ.

4) Результаты поверки считать положительными, если вычисленное значение относительного энергетического разрешения по линии гамма-излучения с энергией 661,6 кэВ находится в диапазоне:

- базовое исполнение СЕГР-МСА527-СЦ от 4,5 до 10,0 %;
- исполнение 01 СЕГР-МСА527-СЦ от 2,5 до 4,5 %;
- исполнение 02 СЕГР-МСА527-СЗТ от 1,5 до 4,5 %.

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						Лист 10
					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

6.3.3 Определение абсолютного энергетического разрешения СЕГР-МСА527-ППД по линии гамма-излучения с энергией 122 кэВ, 1332 кэВ

Определение провести в следующем порядке:

1) Провести набор спектра с использованием источников ОСГИ-А на основе Со-57 (или Eu-152) и Со-60, расположив их в дистансерном устройстве на расстоянии, обеспечивающем скорость счета в диапазоне от 250 до 1000 имп·с<sup>-1</sup>. В максимуме пика полного поглощения гамма-линии с энергией 122 кэВ и 1332 кэВ необходимо набрать не менее 2000 отсчетов в каждом ППП.

2) Определить ширину ППП моноэнергетических линии 122 кэВ и 1332 кэВ на их полувысоте  $\eta_{abc}$  с использованием СПО или графически по формуле (1).

Зарегистрировать не менее трех результатов абсолютного энергетического разрешения каждого ППП. Рассчитать среднее арифметическое значение результатов измерений.

3) Результаты поверки считать положительными, если вычисленные значения абсолютного энергетического разрешения находится в диапазоне:

- по линии гамма-излучения с энергией 122 кэВ от 0,65 до 1,3 кэВ;
- по линии гамма-излучения с энергией 1332 кэВ от 1,7 до 2,6 кэВ.

6.3.4 Определение эффективности регистрации СЕГР-МСА527-СЦ и СЕГР-МСА527-CZT в пике полного поглощения с энергией 661,6 кэВ для точечной геометрии измерений

Определение провести в следующем порядке:

1) Измерить фоновый спектр в течение 1 часа, сохранить его в памяти ПК. При наличии в комплекте поставки устройства позиционирования детектора с экраном-коллиматором серии ОПК, измерения проводить при открытой крышке.

2) Установить источник ОСГИ-А Cs-137 в дистансерное устройство соосно детектору на расстоянии 250 мм от крышки детектора установки СЕГР-МСА-СЦ и расстояние 50 мм установки СЕГР-МСА527-CZT и провести процедуры измерения спектра с вычитанием фона в течение времени, обеспечивающем не менее 2000 отсчетов в ППП с энергией 661,6 кэВ; входная загрузка не должна превышать 500 имп·с<sup>-1</sup>.

3) Определить значение абсолютной эффективности регистрации в ППП  $\varepsilon_i$  в имп·с<sup>-1</sup>·Бк<sup>-1</sup> с помощью СПО или расчетом по формуле (4).

$$\varepsilon_i = \frac{N_{\Sigma i} / \tau}{A_0 \cdot e^{-0,693 \frac{t}{T_{1/2}}}}, \quad (4)$$

где  $N_{\Sigma i}$  – количество отсчетов в ППП;

$A_0$  - значение активности источника ОСГИ-А из свидетельства о поверке, Бк;

$T_{1/2}$  - период полураспада радионуклида измеренного источника ОСГИ-А, лет;

$t$  - время, прошедшее с момента проведения поверки источника типа ОСГИ-А, лет;

$\tau$  - время набора спектра (“живое” время), с.

4) Повторить процедуры измерения не менее двух раз и определить среднее арифметическое значение эффективности регистрации в ППП для данного источника ОСГИ-А.

Результаты поверки СЕГР-МСА527-СЦ и СЕГР-МСА527-CZT считать положительными, если среднее значение эффективности регистрации в пике полного поглощения с энергией 661,6 кэВ для точечной геометрии измерений, не менее:

Изн. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

- базовое исполнение СЕГР-МСА527-СЦ, расстояние источник - детектор 250 мм:

$1,0 \cdot 10^{-3}$  имп·с<sup>-1</sup>·Бк<sup>-1</sup>;

- исполнение 01 СЕГР-МСА527-СЦ, расстояние источник - детектор 250 мм:

$1,0 \cdot 10^{-4}$  имп·с<sup>-1</sup>·Бк<sup>-1</sup>;

- исполнение 02 СЕГР-МСА527-СЗТ, расстояние источник - детектор 50 мм:

$5,0 \cdot 10^{-7}$  имп·с<sup>-1</sup>·Бк<sup>-1</sup>.

6.3.5 Определение относительной эффективности регистрации СЕГР-МСА527-ППД в пике полного поглощения с энергией 1332 кэВ для точечной геометрии измерений на расстоянии источник - детектор 250 мм

Определение провести в следующем порядке:

1) Измерить фоновый спектр в течение 1 часа, сохранить его в памяти ПК. При наличии в комплекте поставки устройства позиционирования детектора с экраном-коллиматором серии ОПК, измерения проводить при открытой крышке.

2) Установить источник ОСГИ-А Со-60 в дистансерное устройство соосно детектору на расстоянии 250 мм от крышки детектора и провести процедуры измерения спектра в течение времени, обеспечивающем не менее 2000 отсчетов в ППП с энергией 1332 кэВ; входная загрузка не должна превышать 500 имп·с<sup>-1</sup>.

3) Определить значение абсолютной эффективности регистрации в ППП с помощью СПО или расчетом по формуле (4). Повторить процедуры измерения не менее двух раз и определить среднее арифметическое значение эффективности регистрации в ППП для данного источника ОСГИ-А  $\bar{\varepsilon}$ , имп·с<sup>-1</sup>·Бк<sup>-1</sup>.

4) Рассчитать значение относительной эффективности регистрации  $\varepsilon_{отн}$ , %, для энергии 1332 кэВ по отношению к детектору (NaI)Тl с чувствительным объемом 76,5×76,5 мм по формуле (5)

$$\varepsilon_{отн} = \frac{\bar{\varepsilon}}{\varepsilon_{NaI}} \cdot 100, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_{NaI} = 0,0012$  - значение эффективности регистрации сцинтилляционного детектора NaI(Tl) с чувствительным объемом 7,65×7,65 см в пике 1332 кэВ, имп·с<sup>-1</sup>·Бк<sup>-1</sup>;

$\bar{\varepsilon}$  - среднее значение эффективности регистрации в ППП для данной геометрии, имп·с<sup>-1</sup>·Бк<sup>-1</sup>.

Результаты поверки СЕГР-МСА527-ППД считать положительными, если среднее значение относительной эффективности регистрации в пике полного поглощения с энергией 1332 кэВ для точечной геометрии измерений на расстоянии источник - детектор 250 мм находится в диапазоне от 10 до 160 %.

6.3.6 Определение нижнего предела измеряемой активности радионуклида Cs-137

Определение провести в следующем порядке:

1) Провести энергетическую калибровку спектрометрического измерительного канала с использованием СПО в соответствии с 6.3.1, получив численное значение ИНЛ. Определить номер канала  $n_{imax}$ , в котором должен регистрироваться ППП с энергией 661,6 кэВ точечного эталонного источника на основе Cs-137.

2) Удалить точечные эталонные источники и, не меняя положений органов управления, произвести регистрацию фонового излучения за время не менее  $t_0=3600$  с.

Рассчитать левую -  $n_l$ , и правую -  $n_n$ , границы ППП с энергией 661,6 кэВ, каналов, по формулам (6) и (7)

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЛСРН. 414411.005 МП				12

$$n_l = n_{i \max} - 2 \cdot \Delta n, \quad (6)$$

$$n_n = n_{i \max} + 2 \cdot \Delta n, \quad (7)$$

где  $\Delta n$  – ширина ППП на полувысоте, канал.

3) Вычислить сумму отсчетов  $N_{\Sigma}$ , зарегистрированных на участке спектра от  $n_l$  до  $n_n$  каналов (в имп.) по формуле (8)

$$N_{\Sigma} = \sum_{i=n_l}^{i=n_n} N_i \quad (8)$$

4) Рассчитать нижний предел измеряемой активности для радионуклида Cs-137,  $A_0$ , Бк, при длительности экспозиции  $t_0$ , сек, по формуле (9)

$$A_{\min}(t_0) = \frac{200 \cdot \sqrt{N_{\Sigma}}}{\varepsilon_i \cdot t_0 \cdot I_{abc}}, \quad (9)$$

где  $\varepsilon_i$  – значение абсолютной эффективности регистрации в пике полного поглощения с энергией 661,6 кэВ и точечной геометрии измерений, рассчитанное по формуле (4) на расстоянии 250 мм от детектора СЕГР-МСА527-СЦ и расстоянии 50 мм – СЕГР-МСА527-CZT, указанное в свидетельстве о первичной поверке, имп·с<sup>-1</sup>·Бк<sup>-1</sup>. Значение эффективности регистрации для СЕГР-МСА527-ППД на расстоянии 250 мм определяется согласно п 6.3.4;

$t_0$  – длительности экспозиции, с;

$I_{abc}$  = 85 % – абсолютная интенсивность гамма-квантов с энергией 661,6 кэВ нуклида Cs-137.

Результаты поверки считать положительными, если полученное значение нижнего предела измеряемой активности:

- установкой базового исполнения СЕГР-МСА527-СЦ не более 250 Бк;
- установкой исполнения 01 СЕГР-МСА527-СЦ не более 250 Бк;
- установкой исполнения 02 СЕГР-МСА527-CZT не более 20 Бк;
- установкой исполнения 03 СЕГР-МСА527-ППД не более 1 Бк.

6.3.7 Определение относительной погрешности измерений активности точечного источника

Определение провести в следующем порядке:

1) Подготовить СЕГР-МСА527 для работы в режиме измерений в геометрии «Точечный источник» в соответствии с указаниями РЭ. Произвести измерение фонового спектра в течение 1 часа, сохранить в памяти ПК.

2) Провести измерения двух точечных источников ОСГИ-А Cs-137 с известным содержанием активности радионуклида  $A_0$ , Бк, на расстоянии 250 мм от чувствительной части блока детектирования установок СЕГР-МСА527-СЦ и СЕГР-МСА527-ППД, и на расстоянии 50 мм от чувствительной части блока детектирования СЕГР-МСА527-CZT. Источник с минимальной активностью должен обеспечивать входную статистическую загрузку спектрометрического канала в ППП 661,6 кэВ не менее 5 имп·с<sup>-1</sup>, источник с максимальной активностью должен обеспечивать загрузку не более 10<sup>4</sup> имп·с<sup>-1</sup>. Мертвое время, регистрируемое в СПО, не должно превышать 10 %.

Установить источник ОСГИ-А Cs-137 в дистансерное устройство соосно детектору на заданном расстоянии. Провести набор не менее пятнадцати аппаратурных спектров в течение

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата					
Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
					ЛСРН. 414411.005 МП				Лист
									13

времени  $\tau$ , обеспечивающем от 2000 до 10000 отсчетов в ППП с энергией 661,6 кэВ. Измерения активности источника ОСГИ-А проводить в режиме вычитания фона.

С помощью СПО рассчитать активность точечного источника Cs-137 в Бк за время измерения  $\tau$ .

3) Вычислить доверительные границы относительной погрешности измерений активности источника ОСГИ-А указанным ниже способом.

Рассчитать среднее арифметическое значения результатов измерений активности источника ОСГИ-А, измеренных за время экспозиции  $\tau$ , по формуле (10)

$$A_{cp} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m A_i, \quad (10)$$

где  $A_{cp}$  - среднее значение результатов  $i=m$  параллельных измерений активности источника ОСГИ-А, Бк.

Рассчитать оценку среднего квадратического отклонения (СКО) случайной составляющей погрешности измерений активности в Бк по формуле (11)

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (A_i - A_{cp})^2}{m-1}}, \quad (11)$$

и оценку систематической составляющей погрешности измерений установкой СЕГР-МСА527 в Бк по формуле (12)

$$\hat{\theta} = A_{cp} - A_{эт}, \quad (12)$$

где  $A_{эт}$  - значение активности источника ОСГИ-А Cs-137 на дату проведения измерений, Бк, рассчитанное по формуле (13)

$$A_{эт} = A_0 \cdot e^{-0,693 \frac{t}{T_{1/2}}}, \quad (13)$$

где  $A_0$  - значение активности источника ОСГИ-А из свидетельства о поверке, Бк;

$T_{1/2}$  - период полураспада Cs-137, лет;

$t$  - время, прошедшее со времени последней поверки источника ОСГИ-А, лет.

Вычислить полуширину доверительного интервала (для  $P=0,95$ ) оценки систематической составляющей погрешности измерений активности по формуле (14)

$$\Theta_{\Gamma} = \sqrt{\left(\frac{k \cdot \hat{\sigma}}{\sqrt{m}}\right)^2 + \Delta_0^2}, \quad (14)$$

где  $\Theta_{\Gamma}$  - полуширина доверительного интервала ( $P=0,95$ ) оценки систематической составляющей погрешности измерений активности, Бк;

$k$  - 95 % квантиль распределения Стьюдента с  $m-1$  степенями свободы;

$\Delta_0$  - доверительные границы абсолютной погрешности эталонного источника ОСГИ-А, Бк, рассчитываемые по формуле (15)

$$\Delta_0 = \frac{A_{эт}}{100} \cdot \delta_0, \quad (15)$$

где  $\delta_0$  - значение относительной погрешности эталонного источника из свидетельства о поверке, %.

Вычислить верхнюю доверительную границу (для  $P=0,95$ ) систематической составляющей погрешности измерений, Бк, по формуле (16)

Изн. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата

$$\Theta = (|\hat{\Theta}| + \Theta_r) \quad (16)$$

Рассчитать верхнюю доверительную границу СКО случайной составляющей погрешности измерений по формуле (17)

$$\sigma = \hat{\sigma} \sqrt{\frac{m-1}{\chi^2}}, \quad (17)$$

где  $\chi^2$  - 95 % квантиль распределения  $\chi^2$  с  $m-1$  степенями свободы.

Вычислить верхнюю доверительную границу суммарной абсолютной погрешности измерений активности, Бк, по формуле (18)

$$\Delta = \sqrt{(\Theta)^2 + (1,96 \cdot \sigma)^2} \quad (18)$$

Вычислить доверительные границы относительной погрешности измерений активности установкой СЕГР-МСА527, %, по формуле (19)

$$\delta = 100 \cdot \frac{\Delta}{A_{эм}} \quad (19)$$

Рассчитать и обеспечить контроль значения входной статистической загрузки  $N_{in}$  в имп·с<sup>-1</sup> по регистрируемой (выходной) нагрузке  $N_{out}$  (имп·с<sup>-1</sup>) с использованием СПО по формуле (20).

$$N_{in} = N_{out} / \kappa, \quad (20)$$

где  $\kappa = t_{жив}/t_{реа}$  – нормировочный коэффициент, учитывающий долю зарегистрированных событий загрузки спектрометрического измерительного канала к общему числу событий входной статистической загрузки, рассчитываемое как отношение зарегистрированного «живого» времени  $t_{жив}$  спектра в секундах к реальному времени измерения спектра  $t_{реа}$  в секундах.

Результаты испытаний считают положительными, если для каждого значения активности, выполняется критерий:

$$\delta \leq \delta_{пр}, \quad (21)$$

где  $\delta_{пр} = \pm 20$  % – пределы допускаемой относительной погрешности измерений активности точечного источника Cs-137.

6.3.8 Определение нестабильности характеристики преобразования за время непрерывной работы 24 часа

В течение времени непрерывной работы СЕГР-МСА527 обеспечить измерение не менее  $m=3$  измерений спектра источников ОСГИ-А (таблица 4), обеспечивающих регистрацию ППП в начале, середине и конце энергетического диапазона.

Определить нестабильность характеристики преобразования измерительного спектрометрического канала СЕГР-МСА527 за время непрерывной работы в каждом  $i$ -том спектре:

1) После завершения измерений определить положения центроид пиков  $n_1, n_2, n_3$ , соответствующих началу, середине и концу энергетического диапазона в каждом полученном  $i$ -том спектре, и рассчитать среднее положение каждой центроиды по формулам (22)

$$\bar{n}_1 = \frac{\sum n_{1i}}{m}; \quad \bar{n}_2 = \frac{\sum n_{2i}}{m}; \quad \bar{n}_3 = \frac{\sum n_{3i}}{m}, \quad (22)$$

где  $i = 1 \div m$  – число измеренных спектров.

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Лист
Изн. № подл.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
ЛСРН. 414411.005 МП					15

2) Рассчитать средние квадратические отклонения  $S_1, S_2, S_3$  для положения каждой центроиды  $S_i$  по формуле (23).

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^m (n_i - \bar{n}_i)^2}{m-1}}, \quad (23)$$

3) Из полученных значений  $S_i$  выбрать максимальное  $S_{max}$ .

Нестабильность характеристики преобразования  $D_t$ , %, вычислить по формуле (24)

$$D_t = \frac{S_{max} \cdot B}{E_{max}} \cdot 100, \quad (24)$$

где  $E_{max}$  – энергия, кэВ, соответствующая ППП с наибольшей энергией из числа обрабатываемых пиков.

Результаты поверки считать положительными, если нестабильность характеристики преобразования СЕГР-МСА527 за время непрерывной работы:

- базового исполнения СЕГР-МСА527-СЦ, исполнения 01 СЕГР-МСА527-СЦ не более 1 %;
- исполнения 02 СЕГР-МСА527-СЗТ, исполнения 03 СЕГР-МСА527-ППД не более 0,05 %.

## 7 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

7.1 Положительные результаты поверки СЕГР-МСА527 должны оформляться путем нанесения оттиска поверительного клейма, заверенного поверителем, в разделе «Сведения о поверке» паспорта СЕГР-МСА527 и/или путём выдачи «Свидетельства о поверке» по форме, установленной в приказе Минпромторга России от 02.07.2015 № 1815.

7.2 СЕГР-МСА527, прошедшая поверку с отрицательными результатами, к применению не допускается, оттиск поверительного клейма гасится, «Свидетельство о поверке» аннулируется, выписывается «Извещение о непригодности к применению» по форме, установленной в приказе Минпромторга России от 02.07.2015 № 1815.

7.3 Средство измерений, несоответствующее требованиям технической документации направляются в ремонт с проведением первичной поверки после настройки.

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата						Лист
										16
					ЛСРН. 414411.005 МП					
					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	



