

СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель генерального
директора – заместитель по научной
работе ФГУП «ВНИИФТРИ»



А.Н. Щипунов

08 2024 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Спектрометры подводные РЭМ-4Х

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

КУМП.6219.00.000 МП

р.п. Менделеево

2024 г.

Оглавление

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	3
2. ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	3
3. ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	4
4. ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ	5
5. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ	5
6. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ .	7
7. ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	7
8. ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	7
9. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	8
10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ.....	8
11. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....	13

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящая методика применяется для поверки спектрометров подводных РЭМ-4Х (далее по тексту – спектрометр), используемых в качестве средств измерений 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».

1.2. В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование	Значение
Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения, МэВ	от 0,1 до 3,0
Пределы допускаемой относительной погрешности характеристики преобразования (интегральная нелинейность), %	±1
Относительное энергетическое разрешение линии 662 кэВ, %, не более	
- РЭМ-4-25 «Щуп»	15
- РЭМ-4-50	10
- РЭМ-4-76	12
Диапазон измерений активности радионуклида ^{137}Cs ¹⁾ , Бк	от $5 \cdot 10^3$ до 10^5
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений активности радионуклида ^{137}Cs , %	±30
¹⁾ Приведен для радионуклидного точечного источника, размещаемого в середине торцевой поверхности спектрометра.	

1.3. При определении метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивается передача единицы активности радионуклидов в соответствии с ГОСТ 8.033-2023, подтверждающая прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ 6-2016.

1.4. При определении метрологических характеристик поверяемого средства измерений используется метод прямых измерений.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. При проведении первичной (в том числе после ремонта) и периодической поверок должны выполняться операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень операций поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
Проверка программного обеспечения (далее – ПО) средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	10
Проверка диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения и определение пределов допускаемой относительной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)	Да	Да	10.1
Проверка относительного энергетического разрешения линии 662 кэВ	Да	Да	10.2
Проверка диапазона измерений активности радионуклида ^{137}Cs и пределов допускаемой относительной погрешности измерений активности радионуклида ^{137}Cs	Да	Да	10.3

2.2. Поверка спектрометра прекращается в случае получения отрицательного результата при проведении хотя бы одной из операций, приведенных в таблице 2, а спектрометр признают не прошедшим поверку.

2.3. Не допускается проведение поверки для меньшего числа измеряемых величин.

3. ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1. При проведении поверки должны выполняться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С от +15 до +20;
- атмосферное давление, кПа от 84,0 до 106,7;
- относительная влажность воздуха, % от 30 до 80;

4. ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1. Поверка спектрометра осуществляется аккредитованными в установленном порядке юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

4.2. Поверку могут проводить лица с высшим или средним техническим образованием, имеющие квалификацию поверителя, ознакомленные с руководством по эксплуатации спектрометра и допущенные к работам с источниками ионизирующих излучений.

5. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1. При проведении поверки применяются эталоны и средства измерений, приведенные в Таблице 3.

Таблица 3

<i>Операции поверки, требующие применение средств поверки</i>	<i>Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки</i>	<i>Перечень рекомендуемых средств поверки</i>
п. 8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Средства измерений температуры окружающего воздуха в диапазоне измерений от +10 °С до +40 °С с абсолютной погрешностью не более ±1 °С; Средства измерений атмосферного давления в диапазоне измерений от 84,0 кПа до 106,7 кПа, с абсолютной погрешностью не более 0,5 кПа; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне измерений от 20 % до 85 %, с абсолютной погрешностью не более ±5 %.	Прибор комбинированный Testo 608-N1 (рег. № 53505-13); Барометр рабочий сетевой БРС-1М-1 (рег. № 16006-97); Прибор комбинированный Testo 608-N1 (рег. № 53505-13)

Продолжение таблицы 3

<p><i>Операции поверки, требующие применение средств поверки</i></p>	<p><i>Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки</i></p>	<p><i>Перечень рекомендуемых средств поверки</i></p>
<p>п. 10.1 Проверка диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения и определение пределов допускаемой относительной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)</p>	<p>Эталоны единицы активности радионуклидов ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{152}Eu, ^{232}Th, соответствующие требованиям к эталонам не ниже рабочих эталонов 2 разряда по ГОСТ 8.033-2023</p>	<p>Источники фотонного излучения радионуклидные закрытые спектрометрические эталонные ОСГИ-3 (рег. № 46383-11) Источники радионуклидные фотонного излучения метрологического назначения закрытые ИМН-Г (рег. № 44591-10)</p>
<p>п. 10.2 Проверка относительного энергетического разрешения линии 662 кэВ</p>	<p>Эталоны единицы активности радионуклида ^{137}Cs, соответствующие требованиям к эталонам не ниже рабочих эталонов 2 разряда по ГОСТ 8.033-2023</p>	<p>Источники фотонного излучения радионуклидные закрытые спектрометрические эталонные ОСГИ-3 (рег. № 46383-11) Источники радионуклидные фотонного излучения метрологического назначения закрытые ИМН-Г (рег. № 44591-10)</p>
<p>п. 10.3 Проверка диапазона измерений активности радионуклида ^{137}Cs и определение пределов допускаемой относительной погрешности измерений активности радионуклида ^{137}Cs</p>	<p>Эталоны единицы активности радионуклида ^{137}Cs, соответствующие требованиям к эталонам не ниже рабочих эталонов 2 разряда по ГОСТ 8.033-2023 со значением активности радионуклидов от $5 \cdot 10^3$ до 10^4 Бк (далее – источник с меньшей активностью радионуклидов) Эталоны единицы активности радионуклида ^{137}Cs, соответствующие требованиям к эталонам не ниже рабочих эталонов 2 разряда по ГОСТ 8.033-2023 со значением активности радионуклидов от $6 \cdot 10^4$ до 10^5 Бк (далее – источник с большей активностью радионуклидов)</p>	<p>Источники радионуклидные фотонного излучения метрологического назначения закрытые ИМН-Г (рег. № 44591-10) Источники фотонного излучения радионуклидные закрытые спектрометрические эталонные ОСГИ-3 (рег. № 46383-11)</p>
<p><i>Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.</i></p>		

6. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1. При проведении поверки должны выполняться требования:

- Норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009);
- Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010);
- Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ и ПТБ-84);
- Инструкций по радиационной безопасности.

7. ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1. При проведении внешнего осмотра устанавливается:

- соответствие комплектности поверяемого спектрометра требованиям раздела 5 Паспорта;
- наличие результатов последней поверки в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (при периодической поверке);
- наличие четких маркировочных надписей на спектрометре;
- отсутствие загрязнений, механических повреждений, влияющих на работу спектрометра.

7.2. Результаты внешнего осмотра считаются положительными, если выполняются вышеперечисленные требования.

8. ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1. Перед проведением поверки спектрометр подготавливается к работе в соответствии с требованиями раздела 2 Руководства по эксплуатации.

8.2. Проводятся измерения температуры окружающего воздуха, атмосферного давления и относительной влажности воздуха в месте расположения спектрометра. Результаты измерений заносятся в рабочий журнал.

8.3. При проведении опробования необходимо с применением программного обеспечения (далее – ПО) «NewCoPra4X» убедиться, что происходит набор спектра излучения фона.

8.4. Результаты опробования считаются положительными, если проводится набор спектра излучения фона.

9. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

9.1. Проводится проверка соответствия следующих представленных идентификационных данных ПО «NewCoPra4X»:

- проверка наличия программного модуля ПО спектрометра;
- определение номера версии ПО.

9.2. Проверка наличия программного модуля ПО спектрометра.

9.2.1. В каталоге C:\NewCoPra4X\ (в случае установки ПО на диск C) проверяется наличие файла newcopra4x.exe.

9.3. Определение номера версии программного обеспечения «NewCoPra4X».

9.3.1. Определение номера версии производится посредством просмотра информации в левом верхнем углу окна ПО (рис.1).

9.3.2. Соответствие подтверждается сравнением версии программного модуля с указанным значением (диапазоном от 4.0 до 99.0) в описании типа СИ.

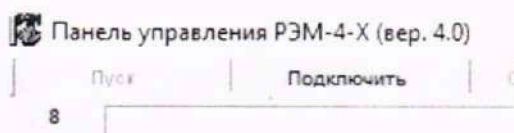


Рисунок 1 – проверка номера версии

9.3.3. Результат проверки программного обеспечения спектрометра считается положительным, если наименование, идентификационное наименование соответствуют данным, зафиксированным в описании типа, при этом номер версии находится в диапазоне от 4.0 до 99.0.

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

10.1. Проверка диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения и определение пределов допустимой относительной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)

10.1.1. Источник гамма-излучения с радионуклидом ^{152}Eu размещается соосно с крышкой детектора, при этом расстояние от источника до крышки детектора подбирается исходя из необходимости создания загрузки спектрометрического тракта в пределах $50 - 1500 \text{ с}^{-1}$.

10.1.2. Выполняется регистрация спектра излучения радионуклида ^{152}Eu . Регистрация спектра завершается после достижения в пике полного поглощения (далее – ППП) не менее 5000 импульсов. Значения энергий линий ППП соответствующих радионуклидов приведено в таблице 4.

Таблица 4 – перечень энергий линий радионуклидов.

№	Радионуклид	Энергия гамма-квантов (E_i), кэВ	Квантовый выход, %
1	^{152}Eu	121,8	27,0
2	^{232}Th (^{212}Pb)	238,6	43,6
3	^{137}Cs	661,7	85,04
4	^{60}Co	1173	99,85
5	^{60}Co	1332	99,98
6	^{232}Th (^{208}Tl)	2614	35,8

10.1.3. В полученном спектре определяется номер канала n_i центроиды ППП радионуклида ^{152}Eu .

10.1.4. Операции, представленные в п.п. 10.1.1 – 10.1.3, повторяются с применением источников гамма-излучения с радионуклидами ^{60}Co , ^{137}Cs и ^{232}Th .

10.1.5. Характеристика преобразования спектрометра представляется в виде прямой линии $n = a + b \cdot E$. При этом, параметры a и b определяются по методу наименьших квадратов.

10.1.6. Для каждой центроиды пика с номером канала n_i и энергией E_i рассчитывается отклонение от прямой линии, описывающей характеристику преобразования спектрометра, по формуле (10.1):

$$\Delta E_i = E_i - \frac{n_i - a}{b} \quad (10.1)$$

10.1.7. Из полученных значений ΔE_i выбирается максимальное по модулю и по формуле (10.2) рассчитывается значение интегральной нелинейности (ИНЛ):

$$\text{ИНЛ} = \frac{\Delta E_{\max}}{E_{\max}} \cdot 100, \quad (10.2)$$

где E_{\max} – наибольшее значение энергии гамма-квантов из перечня обрабатываемых пиков полного поглощения, равное 2614 кэВ.

10.1.8. Результаты операции поверки считаются положительными, если значение пределов допускаемой относительной погрешности характеристики преобразования не превышает $\pm 1\%$.

10.2. Проверка относительного энергетического разрешения линии 662 кэВ.

10.2.1. Источник гамма-излучения с радионуклидом ^{137}Cs размещается соосно с крышкой детектора, при этом расстояние от источника до крышки детектора подбирается исходя из необходимости создания загрузки спектрометрического тракта в пределах 50 – 1500 с⁻¹.

10.2.2. Выполняется регистрация спектра излучения радионуклида ^{137}Cs . Регистрация спектра завершается после достижения в ППП не менее 10^4 импульсов.

10.2.3. Определяется ширина ППП линии 662 кэВ на её полувысоте $\Delta_{\text{п}}$, каналов.

10.2.4. Определяется положение центроиды ППП линии 662 кэВ $n_{\text{ц}}$, каналов.

10.2.5. Рассчитывается относительное энергетическое разрешение $\eta_{\text{отн}}$, %, по формуле (10.3):

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{\Delta_{\text{п}}}{n_{\text{ц}}} \cdot 100, \quad (10.3)$$

10.2.6. Результаты операции поверки считаются положительными, если значения относительного энергетического разрешения линии 662 кэВ не превышают значений, приведенных в таблице 5.

Таблица 5 – требования к значениям относительного энергетического разрешения линии 662 кэВ.

Наименование характеристики	Значение
Относительное энергетическое разрешение линии 662 кэВ, %, не более	
- РЭМ-4-25 «Щуп»	15
- РЭМ-4-50	10
- РЭМ-4-76	12

10.3. Проверка диапазона измерений активности радионуклида ^{137}Cs и определение пределов допускаемой относительной погрешности измерений активности радионуклида ^{137}Cs .

10.3.1. Источник с меньшей активностью радионуклидов размещается в середине торцевой поверхности детектора.

10.3.2. Выполняется регистрация спектра излучения радионуклида ^{137}Cs . Регистрация спектра завершается после достижения в ППП линии 662 кэВ не менее 10^4 импульсов.

10.3.3. Определяются номера каналов, соответствующие границам ППП линии

662 кэВ.

10.3.4. Источник снимается с торца детектора.

10.3.5. Выполняется регистрация спектра фона в течение 3600 с. Набранный спектр сохраняется в памяти ПК.

10.3.6. Определяется скорость счета импульсов фона $n_{\text{ф}}$ в каналах, соответствующих границам ППП линии 662 кэВ.

10.3.7. Источник с меньшей активностью радионуклидов размещается в середине торцевой поверхности детектора.

10.3.8. Выполняется регистрация спектра излучения радионуклида ^{137}Cs . Регистрация спектра завершается после достижения в ППП линии 662 кэВ не менее 10^4 импульсов.

10.3.9. С применением ПО определяется значение скорости счета импульсов $n_{\text{н}}$, с^{-1} , в ППП линии 662 кэВ.

10.3.10. Источник с меньшей активностью радионуклидов заменяется на источник с большей активностью радионуклидов и размещается в середине торцевой поверхности детектора.

10.3.11. Выполняется регистрация спектра излучения радионуклида ^{137}Cs . Регистрация спектра завершается после достижения в ППП линии 662 кэВ не менее $5 \cdot 10^4$ импульсов.

10.3.12. С применением ПО определяется значение скорости счета импульсов $n_{\text{в}}$, с^{-1} , в ППП линии 662 кэВ.

10.3.13. Рассчитываются значения нижней границы диапазона измерений активности радионуклида ^{137}Cs $A_{\text{нг}}$, Бк, по формуле (10.4):

$$A_{\text{нг}} = 3 \cdot A_{\text{н}} \cdot \frac{n_{\text{ф}}}{n_{\text{н}}}, \quad (10.4)$$

где $A_{\text{н}}$ – значение активности радионуклида ^{137}Cs источника с меньшей активностью радионуклидов на дату выполнения измерений.

10.3.14. Рассчитывается значение активности радионуклида ^{137}Cs $A_{\text{и}}$, Бк, источника с большей активностью радионуклидов по формуле (10.5):

$$A_{\text{и}} = A_{\text{н}} \cdot \frac{n_{\text{в}}}{n_{\text{н}}} \quad (10.5)$$

10.3.15. Рассчитывается отклонение измеренного значения активности радионуклида ^{137}Cs источника с большей активностью радионуклидов $\Delta_{\text{с}}$, %, от действительного значения активности радионуклида ^{137}Cs по формуле (10.6):

$$\Delta_C = \frac{|A_H - A_B|}{A_B} \cdot 100, \quad (10.6)$$

где A_B – значение активности радионуклида ^{137}Cs источника с большей активностью радионуклидов на дату выполнения измерений.

10.3.16. Рассчитываются значения относительного среднеквадратического отклонения S_H и S_B результатов определений скоростей счета импульсов от источников с меньшей и большей активностью радионуклидов, соответственно, по формулам (10.7) и (10.8):

$$S_H = \frac{1}{\sqrt{N_H}} \cdot 100, \quad (10.7)$$

$$S_B = \frac{1}{\sqrt{N_B}} \cdot 100, \quad (10.8)$$

где N_H и N_B – количество зарегистрированных импульсов от источника с меньшей и большей активностью радионуклидов, соответственно, в пике полного поглощения линии 662 кэВ.

10.3.17. Рассчитывается значение относительного среднеквадратического отклонения S для результатов определения скоростей счета импульсов по формуле (10.9):

$$S = \sqrt{S_H^2 + S_B^2} \quad (10.9)$$

10.3.18. Рассчитывается значение границ неисключенной систематической погрешности оценки активности радионуклида ^{137}Cs по формуле (10.10):

$$\theta_\Sigma = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\delta_H^2 + \delta_B^2 + \Delta_C^2} \quad (10.10)$$

где δ_H и δ_B – границы относительной погрешности измерений активности радионуклида ^{137}Cs источников с меньшей и большей активностью радионуклидов, соответственно.

10.3.19. Рассчитывается значение границ относительной погрешности измерений активности радионуклида ^{137}Cs δ , %, при доверительной вероятности $P = 0,95$ по формуле (10.11):

$$\delta = 2 \cdot \sqrt{S^2 + \frac{\theta_\Sigma^2}{3}} \quad (10.11)$$

10.3.20. Результаты операции поверки считаются положительными, если выполняются соотношения (10.12) и (10.13):

$$A_H \leq 5 \cdot 10^3 \text{ Бк} \quad (10.12)$$

$$\delta \leq \pm 30 \% \quad (10.13)$$

11. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1. Спектрометр признается годным, если в ходе поверки все результаты положительные.

11.2. Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

11.3. При положительных результатах поверки по заявлению владельца спектрометра или лица, предъявившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке, и (или) в паспорт спектрометра вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки.

11.4. Спектрометр, имеющий отрицательные результаты поверки, в обращение не допускается. По заявлению владельца спектрометра или лица, предъявившего его на поверку, на него выдается извещение о непригодности к применению с указанием причин забракования.

И.о. начальника НИО-4 ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.А. Картавенко

Инженер 1 категории лаборатории № 420
ФГУП «ВНИИФТРИ»



Д.А. Булдаков