

СОГЛАСОВАНО

Руководитель ГЦИ СИ ФГУП

«ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

И. Ханов

22.08.2010 г.

(Служба РЭ «Поверка»)



УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора

ООО «НТЦ «РАДЭК»

Р.Е. Брюхов

22.08.2010 г.



**СПЕКТРОМЕТРЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ
МКСП-01 «РАДЭК»**

**РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
(ШФРК. 412151.002 РЭ)**

л.р. 46000-РЭ

И.о. руководителя отдела

ГЦИ СИ ФГУП

«ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

 Н.Н. Моисеев

«22»  2010 г.

Санкт-Петербург
2010 г.

4 Поверка

Настоящая методика поверки распространяется на спектрометры гамма излучений МКСП-01 «РАДЭК» (далее – спектрометры) и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

Первичная поверка проводится при выпуске спектрометров из производства и после ремонта, периодическая – в процессе эксплуатации.

Межповерочный интервал – 2 года.

Поверка должна осуществляться органами государственной метрологической службы Росстандарта или метрологическими службами юридических лиц, аккредитованных в установленном порядке на право проведения государственной поверки спектрометрических и радиометрических средств измерений.

4.1 Операции поверки

При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 6.

Таблица 6

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
1 Внешний осмотр	7.1	Да	Да
2 Опробование	7.2	Да	Да
3 Определение метрологических характеристик:	4.7.3	Да	Да
- определение относительного энергетического разрешения;	4.7.3.1	Да	Да
- определение основной относительной погрешности характеристики преобразования и диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения;	4.7.3.2	Да	Да
- определение эффективности регистрации в пике полного поглощения с энергией гамма-излучения 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs ;	4.7.3.3	Да	Да
- определение времени установления рабочего режима и нестабильности прибора за 24 часа непрерывной работы от сети	4.7.3.4	Да	Нет
- проверка максимальной входной статистической загрузки	4.7.3.5	Да	Нет
4 Оформление результатов поверки	4.8	Да	Да

4.2 Средства поверки

При проведении поверки должны применяться средства измерений и вспомогательное оборудование, указанные в таблице 7.

Таблица 7

Наименование средств поверки и вспомогательного оборудования	Основные метрологические характеристики	Номер пункта методики при	
		первичной поверке	периодической поверке
Эталонные спектрометрические источники гамма-излучения ОСГИ-3 ТУ 7018-001-13805076-03 из радионуклидов ^{152}Eu , ^{88}Y , ^{228}Th , ^{137}Cs	Активность от 3 до 180 кБк. Поток фотонов в телесный угол 4л стерадиан от $7 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$. Погрешность аттестации по активности не более $\pm 3 \%$	4.7.3.2	4.7.3.2
Эталонный спектрометрический источник гамма-излучения ОСГИ-3 из радионуклида ^{137}Cs		4.7.3.1 4.7.3.3- 4.7.3.5	4.7.3.1 4.7.3.3
Термометр	Цена деления 1°C . Диапазон измерений температуры от 10 до 40°C	4.7.3	4.7.3
Барометр	Цена деления 1 кПа . Диапазон измерений атмосферного давления от 60 до 120 кПа	4.7.3	4.7.3
Измеритель влажности	Диапазон измерения относительной влажности воздуха от 20 до 90% . Погрешность измерений не более $\pm 5 \%$.	4.7.3	4.7.3
Дозиметр гамма-излучения	Диапазон измерений внешнего фона от $0,1$ до 10 мкЗв/ч ; допускаемая основная относительная погрешность $\pm 20 \%$.	4.7.3	4.7.3

4.3 Требования к квалификации поверителей

К проведению измерений при поверке и (или) обработке результатов измерений допускают лиц, аттестованных в установленном порядке в качестве государственных поверителей спектрометрических и радиометрических средств измерений.

4.4 Требования безопасности при проведении поверки

При проведении поверки должны соблюдаться требования безопасности, изложенные в разделе 3 настоящего Руководства по эксплуатации.

4.5 Условия поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха 20 ± 5 °С;
- относительная влажность воздуха 60 ± 20 %;
- атмосферное давление $101,3 \pm 4$ кПа;
- фон внешнего излучения не более 0,15 мкЗв/ч.

4.6 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки необходимо ознакомиться с разделом 3 настоящего Руководства по эксплуатации.

4.7 Проведение поверки

4.7.1 Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие прибора следующим требованиям:

- соответствие комплектности поверяемого спектрометра требованиям таблицы 2 настоящего Руководства по эксплуатации;
- наличия в Руководстве по эксплуатации отметки о первичной поверке или свидетельства о последней (периодической поверке);
- наличие четких маркировочных надписей на приборе;
- отсутствие загрязнений, механических повреждений, влияющих на работу спектрометра.
-

4.7.2. Опробование

При проведении опробования необходимо проверить работоспособность прибора в соответствии с разделом 3 настоящего Руководства по эксплуатации.

4.7.3 Определение метрологических характеристик

4.7.3.1 Определение энергетического разрешения

4.7.3.1.1 Определение энергетического разрешения спектрометра проводить по линии 661,66 кэВ гамма-излучения ^{137}Cs ;

4.7.3.1.2 Установить спектрометр в кожухе на устройство позиционирования с источником гамма-излучения ^{137}Cs . Активность источника и его положение выбираются таким, чтобы статистическая загрузка спектрометра была до 10000 имп·с⁻¹.

4.7.3.1.3 Провести измерение спектра источника. Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией 661,66 кэВ было не менее 10^4 .

4.7.3.1.4 Произвести обработку полученного спектра, определив ширину пика полного поглощения линии 661.66 кэВ на половине его высоты Δ_n в каналах.

4.7.3.1.5 Рассчитать абсолютное энергетическое разрешение ($\eta_{\text{абс}}$) по формуле:

$$\eta_{\text{абс}} = \Delta_n \cdot K, \quad (1)$$

где K – значение энергетической ширины канала, кэВ/канал,

$$K = \frac{E_2 - E_1}{n_2 - n_1}, \quad (2)$$

где n_2 и n_1 – номера каналов, соответствующие положениям центроид пиков с энергиями E_2 и E_1 соответственно.

4.7.3.1.6 Относительное энергетическое разрешение рассчитывают по формуле:

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

где E – значение энергии пика полного поглощения, кэВ.

Примечание. Допускается для определения относительного энергетического разрешения при обработке спектра использовать соответствующий инструмент программы “ASW” (см. “Описание программы ”ASW””).

4.7.3.1.7 Результат поверки спектрометра считают положительным, если относительное энергетическое разрешение по линии гамма-излучения 661,66 кэВ радионуклида ^{137}Cs с блоками детектирования БДЕГ-63 и БДЕГ-80 не превышает соответственно 9.5 и 10 %.

4.7.3.2 Определение основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)

4.7.3.2.1 Определение основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности) спектрометра проводить следующим образом:

4.7.3.2.2 Установить спектрометр на устройство позиционирования с источником гамма-излучения ^{137}Cs . Активность источника выбирают такой, чтобы статистическая загрузка спектрометра была до 10000 имп·с⁻¹.

4.7.3.2.3 Провести измерение спектра источника. Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией 661.66 кэВ было не менее 10⁴.

4.7.3.2.4 Повторить действия по п.п. 3.5.3.2.2. - 3.5.3.2.3., устанавливая последовательно на устройство позиционирования источники ^{152}Eu , ^{88}Y , ^{228}Th . Время экспозиции выбирать таким, чтобы площадь каждого из пиков полного поглощения, соответствующих энергиям гамма-квантов 121.8(^{152}Eu), 238.6(^{228}Th), 344.2(^{152}Eu), 583.2(^{228}Th), 898.0(^{88}Y), 1408.0(^{152}Eu), 1836.0(^{88}Y) и 2614(^{228}Th) кэВ составляла не менее 10000 импульсов.

Произвести обработку полученных спектров. Определить положение центроид пика 121.8(^{152}Eu), 238.6(^{228}Th), 344.2(^{152}Eu), 583.2(^{228}Th), 661.66(^{137}Cs), 898.0(^{88}Y), 1408.0(^{152}Eu), 1836.0(^{88}Y) и 2614(^{228}Th) кэВ.

4.7.3.2.5 Рассчитать по методу наименьших квадратов уравнение прямой линии, аппроксимирующей экспериментальные значения, в виде:

$$E_{i \text{ расч}} = a + b \cdot N_i, \text{ кэВ} \quad (4)$$

где: $E_{i \text{ расч}}$ – рассчитанная по данному уравнению энергия линии с номером i ;

N_i – положение центроиды линии с номером i ;

a, b – постоянные величины.

Рассчитать по уравнению (4) значения энергий, соответствующих полученным центроидам пика.

Рассчитать отклонение полученных расчетных значений энергии линий $E_{i \text{ расч}}$ от истинных значений E_i по формуле:

$$\Delta E_i = (E_i - E_{i \text{ расч.}}) \text{ кэВ} \quad (5)$$

Рассчитать основную погрешность характеристики преобразования δ (интегральную нелинейность) как отношение максимального значения ΔE_i^{\max} к максимальному значению энергии излучения $E_{i \text{ max}}$ в использованной выборке:

$$\delta = (\Delta E_i^{\max} / E_{i \text{ max}}) \cdot 100, \% \quad (6)$$

4.7.3.2.6 Результат поверки спектрометра считается положительным, если предел допускаемой основной погрешности характеристики преобразования спектрометра (интегральной нелинейности) в рабочем диапазоне энергий гамма-излучения не превышает $\pm 1,0 \%$.

4.7.3.3 Определение эффективности регистрации фотонов в пике полного поглощения от точечного источника ^{137}Cs в стандартной геометрии измерения в кожухе.

4.7.3.3.1 Проверку эффективности регистрации спектрометра проводить по пику полного поглощения радионуклида ^{137}Cs , устанавливая источник вплотную к торцевой поверхности детектора.

4.7.3.3.2 Подготовить спектрометр к выполнению измерений в соответствии с настоящим руководством по эксплуатации.

4.7.3.3.3 Установить источник ^{137}Cs вплотную к торцевой поверхности детектора. Активность источника должна быть такой, чтобы статистическая загрузка спектрометра не превышала 2000 с^{-1} .

4.7.3.3.4 Провести измерение спектра источника. Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией 661.66 кэВ было не менее 5000. Измерения проводят не менее 10 раз. Спектры сохранить для последующей обработки

4.7.3.3.5 В каждом i -том измеренном спектре источника определить скорость счета импульсов n_i , зарегистрированных в пике полного поглощения с энергией 661.66 кэВ, затем рассчитать среднее значение скорости счета \bar{n} и стандартную неопределенность по типу А по формулам:

$$\bar{n} = \frac{\sum n_i}{m}, \quad (7)$$

$$u_{\bar{n}} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{n} - n_i)^2}{(m-1) \cdot m}}, \quad (8)$$

где m – число измерений.

4.7.3.3.6 Эффективность регистрации в пике полного поглощения ϵ рассчитать по формуле:

$$\epsilon = \frac{\bar{n}}{A \cdot \eta_{\gamma}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где ϵ – эффективность регистрации в пике полного поглощения, %;

A – активность радионуклида в источнике ОСГИ на момент измерения спектров, Бк;

η_γ – вероятность эмиссии гамма-квантов (квантовый выход) соответствующей энергии на один акт распада радионуклида, квант/расп.

Рассчитать стандартную неопределенность эффективности регистрации по формуле:

$$u_\varepsilon = \varepsilon \cdot \sqrt{\left(\frac{u_n}{n}\right)^2 + \left(\frac{u_A}{A}\right)^2} \quad (10),$$

где u_n – стандартная неопределенность величины \bar{n} ;

u_A – стандартная неопределенность величины активности источника, определяемая по формуле:

$$u_A = \frac{A \cdot \delta_{A0}}{100 \cdot \sqrt{3}} \quad (11),$$

где δ_{A0} – относительная погрешность аттестации активности источника ОСГИ, %.

Рассчитать расширенную неопределенность эффективности регистрации по формуле:

$$U_\varepsilon = u_\varepsilon \cdot 2 \quad (12),$$

где коэффициент “2” – это коэффициент охвата.

4.7.3.3.7 Результат первичной поверки спектрометра считается положительным, если эффективность регистрации в пике полного поглощения 661.66 кэВ радионуклида ^{137}Cs с учетом неопределенности ее определения ($\varepsilon - U_\varepsilon$) не ниже 4% и 6.5% для БДЕГ-63 и БДЕГ-80 соответственно.

4.7.3.3.8 Результат периодической поверки считают положительным, если полученное значение эффективности удовлетворяет условию:

$$|\varepsilon - \varepsilon_0| \leq \sqrt{U_\varepsilon^2 + U_{\varepsilon_0}^2}, \quad (13)$$

где ε и ε_0 – соответственно измеренное и определенное при первичной поверке значение эффективности;

U_ε и U_{ε_0} – погрешности ε и ε_0 ($P=0.95$).

4.7.3.4 Определение времени установления рабочего режима и нестабильности прибора за 24 часа непрерывной работы от сети.

4.7.3.4.1 Проверку времени установления рабочего режима спектрометра, времени непрерывной работы и нестабильности прибора за 24 часа непрерывной работы от сети проводить с помощью радионуклидных источников ^{137}Cs из комплекта ОСГИ.

4.7.3.4.2 Перед испытанием спектрометр должен находиться в выключенном состоянии не менее 2 часов.

4.7.3.4.3 Установить спектрометр на устройство позиционирования с источником радионуклида ^{137}Cs из комплекта ОСГИ.

4.7.3.4.4 Включить спектрометр, отметив время включения.

4.7.3.4.5 По окончании времени выхода на рабочий режим (5 мин) провести измерения по приведенному ниже описанию.

4.7.3.4.6 Произвести измерение спектра гамма-излучения источника ^{137}Cs из комплекта ОСГИ с временем экспозиции 600 с. Активность источника должна быть такой, чтобы статистическая нагрузка спектрометра не превышала 2000 с^{-1} .

4.7.3.4.7 В полученном спектре определить положение центроиды пика (n_{ci}) гамма-излучения 661,66.

4.7.3.4.8 В течение 24 часов непрерывной работы производить ежедневно измерения в соответствии с п.п. 4.7.3.4.6-4.7.3.4.7.

4.7.3.4.9 Рассчитать среднее положение центроид пиков (\bar{n}_c) гамма-излучения 661,66 кэВ по формуле:

$$\bar{n}_c = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ci}}{m}, \quad (14)$$

где: n_{ci} – положение центроиды пика в спектре с номером i ;
 m – число измерений.

4.7.3.4.10 Рассчитать среднее квадратическое отклонение σ_c центроиды пика по формуле:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_{ci} - \bar{n}_c)^2}{m-1}}. \quad (15)$$

4.7.3.4.11 Рассчитать временную нестабильность (изменение коэффициента преобразования) спектрометра по формуле:

$$D_t = \frac{\sigma_c \cdot K}{E} \cdot 100, \quad (16)$$

где: K – энергетическая ширина канала, кэВ;
 E – энергия линии, кэВ.

4.7.3.4.12 Результат поверки спектрометра считают положительным, если изменение коэффициента преобразования не превышает $\pm 1\%$.

4.7.3.5 Проверка максимальной входной статистической загрузки

4.7.3.5.1 Проверку максимальной входной статистической загрузки производить по линии 661,66 кэВ гамма-излучения ^{137}Cs ;

4.7.3.5.2 Произвести определение энергетического разрешения (η) в соответствии с п.3.5.3.1. при низкой (10^2 с^{-1}) и максимальной (не ниже $5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$) импульсных нагрузках.

4.7.3.5.3 Рассчитать относительное изменение энергетического разрешения δ_η по формуле

$$\delta_\eta = (\eta_{\max} - \eta_{\min}) \cdot 100 / \eta_{\min}, \% \quad (17)$$

где: η_{\max} и η_{\min} – значения энергетического разрешения полученные при максимальной и низкой нагрузках.

4.7.3.5.4 Произвести определение положения центроид пиков (n) при низкой и максимальной импульсных нагрузках

4.7.3.5.5 Рассчитать относительное смещение положений центроид (n_c) пиков по формуле:

$$\delta_c = (n_{c \max} - n_{c \min}) \cdot 100 / n_{c \min}, \% \quad (18)$$

где: $n_{c \max}$ и $n_{c \min}$ – номера каналов, соответствующие положению центроид пиков при максимальной и низкой нагрузках.

4.7.3.5.6 Результат поверки считают положительным, если относительное изменение энергетического разрешения по линии 661,66 кэВ радионуклида ^{137}Cs не превышает 10 %, а относительное смещение центроиды пика не превосходит ± 3 %.

4.8 Оформление результатов поверки

4.8.1 При положительных результатах первичной поверки в Приложение 1 Паспорта документа ставится подпись поверителя, штамп организации, производшей поверку, дата поверки и выдается свидетельство установленной формы о поверке.

4.8.2 При положительных результатах очередной поверки или поверки после ремонта на спектрометр выдается свидетельство установленной формы о поверке.

4.8.3 При отрицательных результатах поверки спектрометр к применению не допускаются. На него выдается извещение установленной формы о непригодности с указанием причин, а свидетельство аннулируется.