

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора
ООО «НТЦ «РАДЭК»

Руководитель ГЦИ СИ ФГУП
«ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»



Р.Е. Брюхов

2013



Н.И. Ханов

февраля

2013

Спектрометры – радиометры гамма-, бета- и альфа - излучения МКГБ-01 “РАДЭК”

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
(ШФРК.412151.005 РЭ)
Раздел 4
Методика поверки

Руководитель отдела
ГЦИ СИ ФГУП
«ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to S.G. Trofimchuk, written over a horizontal line.

С.Г. Трофимчук

«___» _____ 2013 г.

Санкт-Петербург
2013



4 Поверка

Настоящая методика поверки распространяется на спектрометры - радиометры гамма- бета- и альфа излучения МКГБ-01 «РАДЭК» (далее – спектрометры) и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

Первичная поверка спектрометра проводится до ввода в эксплуатацию и после ремонта, периодическая – в процессе эксплуатации.

Интервал между поверками – 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 4.1.

Таблица 4.1

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
1 Внешний осмотр	4.7.1	Да	Да
2 Опробование	4.7.2	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 гамма-излучения;	4.7.3.2	Да	Нет
- определение эффективности регистрации в пике полного поглощения с энергией гамма-излучения 661,7 кэВ радионуклида ^{137}Cs ;	4.7.3.3	Да	Да
- определение времени установления рабочего режима и нестабильности прибора за 8 часов непрерывной работы	4.7.3.4	Да	Нет
- проверка максимальной входной статистической загрузки;	4.7.3.5	Да	Нет
- определение фона альфа и бета – излучения;	4.7.3.6	Да	Да
- определение чувствительности к альфа - излучению радионуклида ^{239}Pu для источника типа ЗП9 на расстоянии 3 мм от торцевой поверхности блока детектирования;	4.7.3.6	Да	Да
- определение чувствительности к бета - излучению радионуклида ^{90}Sr - ^{90}Y для источника типа ЗС0 на расстоянии 3 мм от торцевой поверхности блока детектирования;	4.7.3.6	Да	Да
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 4.2.

Таблица 4.2

Наименование средств поверки и вспомогательного оборудования	Основные метрологические характеристики	Номер пункта методики при	
		первичной поверке	периодической поверке
Комплект источников фотонного излучения радионуклидных закрытых спектрометрических эталонных типа ОСГИ-3 (№ г/р 46383-11) на основе изотопов: ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{88}Y , ^{228}Th , ^{241}Am , ^{60}Co	Активность 10-100 кБк, погрешность аттестации $\pm 3\%$.	4.7.3.1-4.7.3.3	4.7.3.1-4.7.3.3
Образцовый (эталонный) радиометрический источник с радионуклидами $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ типа ЗСО	Активность 500Бк-70кБк, погрешность аттестации $\pm 4\%$	4.7.3.2	4.7.3.2
Образцовый (эталонный) радиометрический источник с радионуклидом ^{239}Pu типа ЗП9	Активность 50Бк÷5000 Бк, погрешность аттестации не более $\pm 6\%$	4.7.3.6	4.7.3.6
Объемные меры активности специального назначения (ОМАСН) радионуклида ^{137}Cs и $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	Активность 50Бк÷5000 Бк, погрешность аттестации не более $\pm 10\%$	4.7.3.4	
Термометр	Цена деления 1 °С. Диапазон измерений температуры от 10 до 40 °С	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 1.6 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 0,2 мкЗв/ч.

4.6 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки необходимо ознакомиться с разделом 2 и 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

4.7.2.1 При проведении опробования необходимо проверить работоспособность прибора в соответствии с разделом 2 настоящего Руководства по эксплуатации.

4.7.2.2 Необходимо провести проверку соответствия следующих представленных идентификационных данных программного обеспечения:

- проверка наличия программного модуля ПО спектрометра;
- определение номера версии программного обеспечения;
- определение цифрового идентификатора (контрольной суммы исполняемого кода) программного обеспечения.

4.7.2.3 Проверка наличия программного модуля ПО спектрометра

В каталоге *C:\ASW* (в случае установки ПО на диск *C*) необходимо проверить наличие файла *asw.exe*.

4.7.2.4 Определение номера версии программного обеспечения



Необходимо выполнить операции по определению номера версии для метрологически значимого модуля программного обеспечения: *asw.exe*. Определение номера версии производится посредством просмотра информации о версии в меню "Помощь" -> "О программе" (смотри рисунок 18). Соответствие подтверждается сравнением версии программного модуля с указанным значением в «Описании типа СИ» (при первичной поверке) или в «Свидетельстве о первичной поверке» (при периодической поверке).



Рисунок 18

4.7.2.5 Определение цифрового идентификатора (контрольной суммы исполняемого кода) программного обеспечения

Необходимо выполнить операции по определению цифрового идентификатора для модуля программного обеспечения (смотри рисунок 2). Вычисление цифрового идентификатора производится посредством подсчета контрольной суммы по методу CRC32 с помощью внешней программы стороннего разработчика.

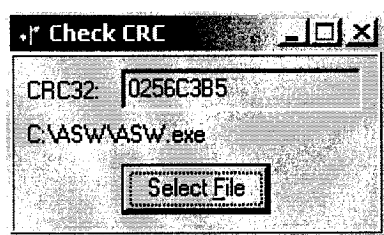


Рисунок 19

Результат первичной поверки спектрометра считают положительным, если наименование, идентификационное наименование соответствуют данным зафиксированным в описании типа (наименование программного обеспечение "ASW", идентификационное наименование "*asw.exe*"), при этом номер версии находится в пределах 12.11.1 – 12.99.9.

Результат периодической поверки спектрометра считают положительным, если наименование, идентификационное наименование соответствуют данным зафиксированным в описании типа (наименование программного обеспечение "ASW", идентификационное наименование "*asw.exe*"), номер версии находится в пределах 12.11.1 – 12.99.9, а контрольная сумма соответствует указанной в свидетельстве о первичной поверке.



4.7.3 Определение метрологических характеристик

4.7.3.1 Определение энергетического разрешения

4.7.3.1.1 Определение энергетического разрешения спектрометра проводить :

- с блоками детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150 – по линии 661,7 кэВ гамма - излучения ^{137}Cs ;
- с блоком детектирования БДЕГ-К – по линии 1332,5 кэВ гамма-излучения ^{60}Co ;
- с блоком детектирования БДЕБ-60, БДЕБ-70 – по линии конверсионных электронов ^{137}Cs .

4.7.3.1.2 Подготовить СПР к выполнению измерений в соответствии с настоящим руководством по эксплуатации.

4.7.3.1.3 Установить устройство позиционирования (дистанцер, обеспечивающий расстояние 5см от источника до поверхности детектора) с источником гамма-излучения ^{137}Cs на детектор блока БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150). Активность источника и его положение выбираются таким, чтобы статистическая загрузка СПР была до 10000 имп/с.

4.7.3.1.4 Провести измерение спектра источника. Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией 661,7 кэВ было не менее 10^4 .

4.7.3.1.5 Произвести обработку полученного спектра, определив ширину пика полного поглощения линии 661,7 кэВ на половине его высоты Δ_n в каналах.

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

$$\eta_{\text{абс}} = \Delta_n \cdot K, \quad (4.7.3.1.6.1)$$

где K – значение энергетической ширины канала, кэВ/канал, определяемое на основе результатов измерений, выполненных в п. 4.8 ТУ:

$$K = \frac{E_2 - E_1}{n_2 - n_1}, \quad (4.7.3.1.6.2)$$

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

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

4.7.3.1.7 Относительное энергетическое разрешение рассчитывают по формуле:

$$\eta_{\text{отн}} = (\eta_{\text{абс}}/E) \cdot 100, \%, \quad (4.7.3.1.7)$$

где E – значение энергии пика полного поглощения, кэВ.

4.7.3.1.8 Результат проверки спектрометра считают положительным, если относительное энергетическое разрешение по линии гамма-излучения 661,7 кэВ радионуклида ^{137}Cs с блоками детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80 и БДЕГ-150 соответственно не превышает 9, 9,5 и 12%.

4.7.3.1.9 Установить устройство позиционирования с источником гамма-излучения ^{60}Co на детектор блока БДЕГ-К. Активность источника и его положение выбираются такими, чтобы статистическая загрузка СПР была до 10000 имп/с.

4.7.3.1.10 Провести измерение спектра источника. Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией 1332,5 кэВ было не менее 10^4 .

4.7.3.1.11 Произвести обработку полученного спектра, определив ширину пика полного поглощения линии 1332,5 кэВ на половине его высоты Δ_n в каналах.



4.7.3.1.12 Рассчитать абсолютное энергетическое разрешение в соответствии с п. 4.7.3.1.6.

4.7.3.1.13 Результат поверки спектрометра считают положительным, если абсолютное энергетическое разрешение по линии 1332,5 кэВ радионуклида ^{60}Co с блоком детектирования БДЕГ-К не превышает 2,5 кэВ.

4.7.3.1.14 Установить устройство позиционирования с источником бета - излучения ^{137}Cs под детектор блока детектирования БДЕБ-60 (БДЕБ-70). Активность источника выбирается такой, чтобы статистическая загрузка СПР была до 10000 имп/с.

4.7.3.1.15 Провести измерение спектра источника. Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в пике конверсионных электронов радионуклида ^{137}Cs было не менее 10^4 .

4.7.3.1.16 Произвести обработку полученного спектра, определив ширину пика конверсионных электронов 624 кэВ на половине его высоты Δ_n в каналах.

4.7.3.1.17 Рассчитать относительное энергетическое разрешение в соответствии с п. 4.7.3.1.5-4.7.3.1.7.

4.7.3.1.18 Результат поверки спектрометра считают положительным, если относительное энергетическое разрешение по линии конверсионных электронов 624 кэВ радионуклида ^{137}Cs с блоками детектирования БДЕБ-60 (БДЕБ-70) не превышает 15 %.

4.7.3.2 Определение основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)

4.7.3.2.1 Определение основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности) спектрометра для блоков детектирования БДЕГ-63 (БДЕГ-80 или БДЕГ-150) и БДЕГ-К проводить следующим образом:

4.7.3.2.2 Установить устройство позиционирования с источником гамма-излучения ^{137}Cs на детектор блока БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150, БДЕГ-К). Активность источника выбираются такой, чтобы статистическая загрузка СПР была до 10000 имп/с.

4.7.3.2.3 Провести измерение спектра источника. Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией 661,7 кэВ было не менее 10^4 .

4.7.3.2.4 По окончании набора сохранить спектр для последующей обработки.

4.7.3.2.5 Повторить действия по п.п. 4.7.3.2.2 - 4.7.3.2.4, устанавливая последовательно на устройство позиционирования источники ^{152}Eu , ^{88}Y , ^{228}Th , ^{241}Am . Время экспозиции выбирать таким, чтобы площадь каждого из пиков полного поглощения, соответствующих энергиям гамма - квантов $31(^{137}\text{Cs})$, $59,6(^{241}\text{Am})$, $121,8(^{152}\text{Eu})$, $238,6(^{228}\text{Th})$, $344,2(^{152}\text{Eu})$, $583,2(^{228}\text{Th})$, $898,0(^{88}\text{Y})$, $1408,0(^{152}\text{Eu})$, $1836,0(^{88}\text{Y})$ и $2614,5(^{228}\text{Th})$ кэВ составляла не менее 10000 импульсов.

4.7.3.2.6 Произвести обработку полученных спектров. Определить положение центроид пиков $31(^{137}\text{Cs})$, $59,6(^{241}\text{Am})$, $121,8(^{152}\text{Eu})$, $238,6(^{228}\text{Th})$, $344,2(^{152}\text{Eu})$, $583,2(^{228}\text{Th})$, $661,7(^{137}\text{Cs})$, $898,0(^{88}\text{Y})$, $1408,0(^{152}\text{Eu})$, $1836,0(^{88}\text{Y})$ и $2614,5(^{228}\text{Th})$ кэВ.

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

$$E_{i \text{ расч}} = a + b \cdot N_i, \text{ кэВ} \quad (4.7.3.2.7.1)$$

где: $E_{i \text{ расч}}$ – рассчитанная по данному уравнению энергия линии с номером i ;
 N_i – положение центроида линии с номером i ;
 a, b – постоянные величины.

Рассчитать по уравнению (4.7.3.2.7.1) значения энергий, соответствующих полученным центроидам пика.



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

$$\Delta E_i = (E_i - E_{i \text{ расч}}) \text{ кэВ} \quad (4.7.3.2.7.2).$$

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:

$$\delta = (\Delta E_i^{\text{max}} / E_{i \text{ max}}) \cdot 100, \%. \quad (4.7.3.2.7.3)$$

4.7.3.2.8 Результат поверки спектрометра считается положительным, если предел допускаемой основной погрешности характеристики преобразования спектрометра (интегральной нелинейности) в рабочем диапазоне энергий гамма-излучения для блоков детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80 или БДЕГ-150 не превышает $\pm 1.0 \%$.

4.7.3.2.9 Результат поверки спектрометра считается положительным, если предел допускаемой основной погрешности характеристики преобразования спектрометра (интегральной нелинейности) в рабочем диапазоне энергий гамма-излучения для блока детектирования БДЕГ-К не превышает $\pm 0.05 \%$.

4.7.3.3 Определение эффективности регистрации в пике полного поглощения от точечного источника радионуклида ^{137}Cs с энергией гамма-излучения 661,7 кэВ.

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

4.7.3.3.2 Установить устройство позиционирования (дистанцер, обеспечивающий расстояние 5 см от источника до поверхности детектора) с источником гамма-излучения ^{137}Cs на детектор блока БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150). Активность источника должна быть такой, чтобы статистическая загрузка СПР не превышала 10000 имп/с.

4.7.3.3.3 Провести измерение спектра источника. Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией 661,7 кэВ было не менее 10^4 . Измерения проводить не менее 5 раз. Спектры сохранить для последующей обработки.

4.7.3.3.4 В каждом i -том спектре источника, измеренном по п. 4.7.3.3.3, определить скорость счета импульсов n_i , зарегистрированных в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией 661,7 кэВ, затем рассчитать среднее значение скорости счета \bar{n} и стандартную неопределенность $u_{\bar{n}}$ по типу А по формулам:

$$\bar{n} = \frac{\sum n_i}{m}, \quad (4.7.3.3.4.1),$$

$$u_{\bar{n}} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{n} - n_i)^2}{(m-1) \cdot m}}, \quad (4.7.3.3.4.2),$$

где m – число измерений.

4.7.3.3.5 Рассчитать эффективность регистрации в пике полного поглощения ϵ по формуле:



$$\varepsilon = \frac{\bar{n}}{A \cdot \eta_{\gamma}} \cdot 100\%, \quad (4.7.3.3.5.1),$$

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:

$$u_{\varepsilon} = \varepsilon \cdot \sqrt{\left(\frac{u_{\bar{n}}}{\bar{n}}\right)^2 + \left(\frac{u_A}{A}\right)^2} \quad (4.7.3.3.5.2),$$

где $u_{\bar{n}}$ – стандартная неопределенность величины \bar{n} ;

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

$$u_A = \frac{A \cdot \delta_{A0}}{100 \cdot \sqrt{3}} \quad (4.7.3.3.5.3),$$

где δ_{A0} – относительная погрешность аттестации активности источника ОСГИ, % (из свидетельства на источник).

Рассчитать расширенную неопределенность эффективности регистрации по формуле:

$$U_{\varepsilon} = u_{\varepsilon} \cdot 2 \quad (4.7.3.3.5.4),$$

где коэффициент "2" – коэффициент охвата.

4.7.3.3.6 Результат первичной поверки спектрометра считается положительным, если эффективность регистрации в пике полного поглощения 661,7 кэВ радионуклида ^{137}Cs с учетом неопределенности ее определения ($\varepsilon - U_{\varepsilon}$) не ниже 1,2%, 2% и 7,5 для БДЕГ-63, БДЕГ-80 и БДЕГ-150 соответственно.

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

$$|\varepsilon - \varepsilon_0| \leq \sqrt{U_{\varepsilon}^2 + U_{\varepsilon_0}^2}, \quad (4.7.3.3.7.1)$$

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

U_{ε} и U_{ε_0} – расширенная неопределенность эффективности ε и ε_0 при коэффициенте охвата 2.



4.7.3.4 Определение времени установления рабочего режима и нестабильности прибора за 8 часов непрерывной работы

4.7.3.4.1 Проверку времени установления рабочего режима спектрометра, времени непрерывной работы и нестабильности прибора за 8 часов непрерывной работы 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 Включить спектрометр, отметив время включения.

4.7.3.4.4 По окончанию времени выхода на рабочий режим (30 мин) провести измерения по приведенному ниже описанию.

4.7.3.4.5 Установить устройство позиционирования с источником радионуклида ^{137}Cs из комплекта ОСГИ на детектор блока БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150, БДЕГ-К) и под детектор блока БДЕБ-60 (БДЕБ-70).

4.7.3.4.6 Произвести измерение спектров гамма-излучения (БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150 и БДЕГ-К) и бета - излучения (БДЕБ-60) источника ^{137}Cs из комплекта ОСГИ с временем экспозиции 600 с. Активность источника должна быть такой, чтобы статистическая загрузка спектрометра не превышала 2000 имп/с.

4.7.3.4.7 В полученных спектрах определить положения центроид пиков (n_{ci}) гамма-излучения 661,7 кэВ и конверсионных электронов 624 кэВ.

4.7.3.4.8 Установить на детекторы блока БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150, БДЕГ-К) ОМАСН ^{137}Cs , под детектор блока БДЕБ-60 (БДЕБ-70) ОМАСН ^{90}Sr - ^{90}Y , под детектор блока БДБ-60 (БДБ-70) источник ^{90}Sr - ^{90}Y типа ЗСО, под детектор блока БДА-60 (БДА-70) источник ^{239}Pu типа ЗП9.

4.7.3.4.9 Произвести измерение спектров ОМАСН и источников ЗСО и ЗП9 с временем экспозиции 2400 с.

4.7.3.4.10 Провести обработку полученных спектров в соответствии с РЭ СПР и определить измеренные значения активностей (A_i) в ОМАСН и источниках ЗСО и ЗП9.

4.7.3.4.11 В течение 8 часов непрерывной работы для блоков детектирования БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150, БДЕГ-К) и блоков БДЕБ-60 (БДЕБ-70) производить ежечасно измерения в соответствии с пп. 4.7.3.4.5-4.7.3.4.10, а для блоков детектирования БДБ-60 (БДБ-70) и БДА-60 (БДА-70) в соответствии с пп. 4.7.3.4.8-4.7.3.4.10.

4.7.3.4.12 Рассчитать среднее положение центроид пиков (\bar{n}_c) гамма-излучения 661,7 кэВ по формуле:

$$\bar{n}_c = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ci}}{m}, \quad (4.7.3.4.12.1)$$

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

4.7.3.4.13 Рассчитать среднее квадратическое отклонение σ_c центроиды пика по формуле:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_{ci} - \bar{n}_c)^2}{m-1}}. \quad (4.7.3.4.13.1)$$

4.7.3.4.14 Рассчитать временную нестабильность (изменение коэффициента



преобразования) спектрометра по формуле:

$$D_t = \frac{\sigma_c \cdot K}{E} \cdot 100, \quad (4.7.3.4.14)$$

где: K – энергетическая ширина канала, определенная при малой загрузке, кэВ;
 E – энергия линии, кэВ.

4.7.3.4.15 Рассчитать нестабильность работы СПР при измерении активности как максимальное отклонение активности от полученной при первом измерении по формуле:

$$G_A = 100 \cdot (A_0 - A_i) / A_0, \% \quad (4.7.3.4.15)$$

4.7.3.4.16 Результат поверки спектрометра считают положительным, если изменение коэффициента преобразования для блоков детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80 или БДЕГ-150, а также БДЕБ-60 или БДЕБ-70 не превышает $\pm 1\%$, а нестабильность при измерении активности ^{137}Cs не превосходит $\pm 2\%$.

Результат поверки спектрометра считают положительным, если изменение коэффициента преобразования для блоков детектирования БДЕГ-К не превышает $\pm 0,1\%$, а нестабильность при измерении активности ^{137}Cs не превосходит $\pm 1,5\%$ для блоков детектирования БДЕГ-К.

Результат поверки спектрометра считают положительным, если нестабильность при измерении активности для блоков детектирования БДА-60 или БДА-70, а также БДБ-60 или БДБ-70, не превышает $\pm 2\%$.

4.7.3.5 Проверка максимальной входной статистической загрузки

4.7.3.5.1 Проверку максимальной входной статистической загрузки производить:

- с блоками детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150 – по линии 661,7 кэВ гамма-излучения ^{137}Cs ,
- с блоком детектирования БДЕГ-К – по линии 1332,5 кэВ гамма-излучения ^{60}Co ;
- с блоками детектирования БДЕБ-60 и БДЕБ-70 – по линии конверсионных электронов ^{137}Cs ;
- с блоками детектирования БДБ-60 и БДБ-70 – с использованием источников ^{90}Sr - ^{90}Y типа ЗСО;
- с блоками детектирования БДА-60 и БДА-70 – с использованием источников ^{239}Pu типа ЗП9.

4.7.3.5.2 Для блоков детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150, БДЕБ-60, БДЕБ-70 и БДЕГ-К произвести определение энергетического разрешения (η) в соответствии с п.4.7.3.1 ТУ при низкой (1000 имп/с) и максимальной (не ниже $5 \cdot 10^4$ имп/с) статистической загрузках.

4.7.3.5.3 Рассчитать относительное изменение энергетического разрешения δ_η по формуле:

$$\delta_\eta = (\eta_{\max} - \eta_{\min}) \cdot 100 / \eta_{\min}, \% \quad (4.7.3.5.3)$$

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

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



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

$$\delta_c = (n_{c \max} - n_{c \min}) \cdot 100 / n_{c \min}, \% \quad (4.7.3.5.5)$$

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 спектрометра с блоками детектирования БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150), считают положительным, если относительное изменение энергетического разрешения по линии 661,7 кэВ радионуклида ^{137}Cs не превышает 10 %, а относительное смещение центроиды пика не превосходит 3 %.

Результат поверки спектрометра с блоками детектирования БДЕБ-60 (БДЕБ-70), считают положительным, если относительное изменение энергетического разрешения по линии конверсионных электронов 624 кэВ радионуклида ^{137}Cs не превышает 10 %, а относительное смещение центроиды пика не превосходит 3 %.

Результат поверки спектрометра с блоками детектирования БДЕГ-К считают положительным, если относительное изменение энергетического разрешения по линии 1332,5 кэВ гамма-излучения ^{60}Co не превышает 10 %, а относительное смещение центроиды пика не превосходит 0,1 %.

4.7.3.5.7 Установить на устройство позиционирования источник альфа-излучения ^{239}Pu типа ЗП9 под детектор блока БДА-60 (БДА-70).

4.7.3.5.8 Активность источника должна приблизительно соответствовать 75% от максимальной статистической загрузки ($5 \cdot 10^4$ имп/с).

4.7.3.5.9 Провести измерение показаний СПР. Время экспозиции 500 сек. Сохранить результат. Повторить измерения пять раз. Определить среднее арифметическое значение.

4.7.3.5.10 Убрать источник из устройства позиционирования. Провести измерения фона. Сохранить результат.

4.7.3.5.11 Определить отклонение показаний СПР Δ_0 в процентах по формуле:

$$\Delta_0 = \frac{A_n - A_0}{A_0} \cdot 100, \quad (4.7.3.5.11)$$

где A_0 – активность радионуклида образцового источника, Бк;

A_n – показания СПР в единицах активностей за вычетом фона, Бк.

4.7.3.5.12 Произвести измерения п.п. 4.7.3.5.7-4.7.3.5.11 для блока детектирования БДБ-60 (БДБ-70) с источником ^{90}Sr - ^{90}Y типа ЗС0.

4.7.3.5.13 Результат поверки СПР с блоками детектирования БДА-60, БДА-70, БДБ-60 и БДБ-70 считают положительным, если отклонение Δ_0 не превышает 10%.

4.7.3.6 Проверку чувствительности регистрации СПР следует проводить:

- с блоками детектирования БДЕБ-60, БДЕБ-70, БДБ-60, БДБ-70 при расположении радионуклида ^{90}Sr - ^{90}Y типа ЗС0 на расстоянии 3 мм от центра торцевой поверхности детектора;

- с блоками детектирования БДА-60, БДА-70 при расположении радионуклида ^{239}Pu типа ЗП9 на расстоянии 3 мм от центра торцевой поверхности детектора.

4.7.3.6.1 Подготовить СПР к выполнению измерений в соответствии с настоящим руководством по эксплуатации.

4.7.3.6.2 Установить источник ^{90}Sr - ^{90}Y типа ЗС0 на устройстве позиционирования



под детектор блока БДЕБ-60 (БДЕБ-70). Активность источника выбирается такой, чтобы статистическая загрузка СПР не превышала 2000 имп/с.

4.7.3.6.3 Провести измерение. Время экспозиции 2000 сек. Сохранить результат.

4.7.3.6.4 Убрать источник из устройства позиционирования. Провести измерения фона. Время экспозиции 3600 сек. Сохранить результат.

4.7.3.6.5 Рассчитать чувствительность СПР к бета-излучению радионуклида ^{90}Sr - ^{90}Y по формуле:

$$e = \frac{\bar{n} - \bar{n}_\phi}{A}, \quad (4.7.3.6.5.1)$$

где \bar{n} - скорость счета от источника ^{90}Sr - ^{90}Y в диапазоне энергий 550-2300 кэВ, имп/с;

\bar{n}_ϕ - скорость счета в диапазоне энергий 550-2300 кэВ при измерении фона, имп/с;

A - активность ^{90}Sr - ^{90}Y в источнике (из свидетельства о поверке источника), Бк.

Рассчитать относительную стандартную неопределенность чувствительности регистрации по формуле:

$$\frac{u_\varepsilon}{\varepsilon} = \sqrt{\frac{1}{(n - n_f)^2} \left(\frac{n}{t} + \frac{n_f}{t_f} \right) + \left(\frac{u_A}{A} \right)^2} \quad (4.7.3.6.5.2)$$

где t и t_f - "живое" время измерения источника и фона, соответственно, с;

$\frac{u_A}{A}$ - стандартная неопределенность величины активности источника, (из свидетельства о поверке источника).

4.7.3.6.6 Результат первичной поверки СПР с блоками детектирования БДЕБ-60 и БДЕБ-70 считается положительным, если чувствительность регистрации в энергетическом интервале 550 - 2300 кэВ спектра радионуклида ^{90}Sr - ^{90}Y с учетом неопределенности ее определения ($\varepsilon - U_\varepsilon$) не менее $0,15 \text{ с}^{-1}\text{Бк}^{-1}$.

Результат периодической поверки СПР с блоками детектирования БДЕБ-60 и БДЕБ-70 считается положительным, если полученное значение чувствительности удовлетворяет условию:

$$|\varepsilon - \varepsilon_0| \leq \sqrt{U_\varepsilon^2 + U_{\varepsilon_0}^2}, \quad (4.7.3.6.6)$$

где ε и ε_0 - соответственно измеренное и определенное при первичной поверке значение чувствительности;

U_ε и U_{ε_0} - расширенная неопределенность эффективности ε и ε_0 при коэффициенте охвата 2.

4.7.3.6.7 Установить источник ^{90}Sr - ^{90}Y типа ЗСО на устройстве позиционирования под детектор блока БДЕБ-60 (БДЕБ-70). Активность источника выбирается такой, чтобы статистическая загрузка СПР не превышала 2000 имп/с.

4.7.3.6.8 Провести измерения в соответствии с п. 4.7.3.6.5 и 4.7.3.6.6.

4.7.3.6.9 Рассчитать чувствительность СПР к бета-излучению радионуклида ^{90}Sr - ^{90}Y по формуле 4.7.3.6.5.1 и относительную стандартную неопределенность по формуле 4.7.3.6.5.2.



4.7.3.6.10 Результат первичной поверки СПР с блоками детектирования БДБ-60 и БДБ-70 считается положительным, если чувствительность регистрации излучения радионуклида ^{90}Sr - ^{90}Y в источнике типа ЗС0 с учетом неопределенности ее определения (ϵ - U_ϵ) не менее $0,24 \text{ с}^{-1}\text{Бк}^{-1}$, а также значение фона бета - излучения составляет не более 1 имп/с.

Результат периодической поверки СПР с блоками детектирования БДБ-60 и БДБ-70 считается положительным, если полученное значение чувствительности удовлетворяет условию 4.7.3.6.6, а также значение фона бета - излучения составляет не более 1 имп/с.

4.7.3.6.11 Установить источник ^{239}Pu типа ЗП9 на устройстве позиционирования под детектор блока БДА-60 (БДА-70). Активность источника выбирается такой, чтобы статистическая загрузка СПР не превышала 2000 имп/с.

4.7.3.6.12 Провести измерения в соответствии с п. 4.7.3.6.5 и 4.7.3.6.6.

4.7.3.6.13 Рассчитать чувствительность СПР к бета-излучению радионуклида ^{239}Pu по формуле 4.7.3.6.5.1 и относительную стандартную неопределенность по формуле 4.7.3.6.5.2. В качестве \bar{N} и \bar{N}_ϕ взять интегральную скорость счета всей гистограммы.

4.7.3.6.14 Результат первичной поверки СПР с блоками детектирования БДА-60 и БДА-70 считается положительным, если чувствительность регистрации излучения радионуклида ^{239}Pu в источнике типа ЗП9 с учетом неопределенности ее определения (ϵ - U_ϵ) не менее $0,3 \text{ с}^{-1}\text{Бк}^{-1}$, а также значение фона альфа-излучения составляет не более 0,01 имп/с.

Результат периодической поверки СПР с блоками детектирования БДА-60 и БДА-70 считается положительным, если полученное значение чувствительности удовлетворяет условию 4.7.3.6.6, а также значение фона альфа-излучения составляет не более 0,01 имп/с.

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 о поверке установленной формы.

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

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



Приложение 1
(рекомендуемое)
Протокол поверки

1 Поверяемый прибор: спектрометр – радиометр гамма-, бета- и альфа - излучения МКГБ-01 "РАДЭК" № _____,
(заводской номер)
выпущенный (отремонтированный) _____
(дата выпуска или ремонта)
_____ ,
(предприятие-изготовитель или ремонтное предприятие)
принадлежащий _____
(наименование организации)

2 Условия поверки:

Температура окружающего воздуха _____ °С;

Атмосферное давление _____ кПа;

Относительная влажность _____ %;

Внешний фон гамма-излучения _____ мкЗв/ч.

3 Результаты поверки

3.1 Результаты внешнего осмотра _____

3.2 Результаты опробования _____

3.4 Результаты определения относительного энергетического разрешения

Таблица 3.4.1

Блок детектирования	Относительное энергетическое разрешение, %



3.5 Результаты определения основной относительной погрешности характеристики преобразования гамма-излучения.

Таблица 3.5.1 Результаты испытаний блока детектирования БДЕГ...

Нуклид	Номер источника	Положение линии в спектре N_i	Энергия линии, E_i	Энергия линии, рассчитанная по МНК	$\Delta E_i = E_i - E_{i \text{ расч}}$
		Канал	кэВ	кэВ	кэВ
^{241}Am			59,6		
^{152}Eu			121,8		
			344,2		
			1408,0		
^{137}Cs			30,9		
			661,7		
^{88}Y			898,0		
			1836,0		
^{60}Co			1173,2		
			1332,5		
^{228}Th			238,6		
			583,2		
			2614,5		

Таблица 3.5.2 Результаты испытаний блока детектирования БДЕБ...

Радионуклид	Номер источника	Положение линии в спектре (канал для максимального значения энергии) N_i	Энергия линии (максимальное значение энергии)	Энергия, рассчитанная по МНК	$\Delta E_i = E_i - E_{i \text{ расч}}$
		канал	кэВ	кэВ	кэВ
^{14}C			156,5		
^{147}Pm			224,6		
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$			2284,0		
^{106}Ru			3541,0		
^{204}Tl			764,3		
^{137}Cs			624,0		
^{207}Bi			976,0		



3.6 Результаты определения эффективности регистрации в пике полного поглощения от точечного источника радионуклида ^{137}Cs с энергией гамма-излучения 661,7 кэВ.

Таблица 3.6.1

№ измерения	Скорость счета в пике в пике полного поглощения 661,7 кэВ радионуклида ^{137}Cs , имп/с для блоков детектирования:			
	БДЕГ-63	БДЕГ-80	БДЕГ-150	БДЕГ-К
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее \bar{n}				
Стандартная неопределенность u_n				

Таблица 3.6.2

Блок	Эффективность регистрации ϵ , %	Стандартная неопределенность эффективности регистрации u_ϵ , %	Расширенная неопределенность U_ϵ , %	Эффективность с учётом неопределенности $\epsilon-U_\epsilon$, %
БДЕГ-63				
БДЕГ-80				
БДЕГ-150				
БДЕГ-К				



3.7 Результаты определение времени установления рабочего режима и нестабильности прибора за 8 часов непрерывной работы

Таблица 3.7.1 Результаты испытаний блока детектирования БДЕГ...

№ изм.	Положение центроиды пика ^{137}Cs с энергией 661,7 кэВ
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

$$\bar{n}_{c 661.7} =$$

$$D_{\tau 661.7} =$$

Таблица 3.7.2 Результаты испытаний блока детектирования ...

№ изм.	Активность A_i , Бк
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

$$G_A =$$

Таблица 3.7.3 Результаты испытаний блока детектирования БДЕБ...

№ изм.	Положение центроиды пика конверсионных электронов ^{137}Cs с энергией 624,0 кэВ
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

$$\bar{n}_c =$$

$$D_c =$$



3.8 Результаты проверки максимальной входной статистической загрузки.

Таблица 3.8.1

Результаты испытания спектрометра с блоками детектирования БДЕГ-...

Блок детектирования	Положение центроиды пика с энергией 661,7 кэВ, канал при загрузке, имп/с		Относительное энергетическое разрешение, %		Относительное смещение положения центроид пиков δ_c , %	Относительного изменения энергетического разрешения δ_η , %
	$1 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$		
БДЕГ-63						
БДЕГ-80						
БДЕГ-150						

Таблица 3.8.2

Результаты испытания спектрометра с блоками детектирования БДЕГ-К

Загрузка, имп/с	Положение центроиды пика с энергией 1332,5 кэВ, канал	Относительное энергетическое разрешение, %	Относительное смещение положения центроид пиков δ_c , %	Относительного изменения энергетического разрешения δ_η , %
2800				
4800				
17000				
34000				
39000				
44000				
51000				

Таблица 3.8.3 Результаты испытания спектрометра с блоками детектирования БДЕБ-...

Блок детектирования	Положение центроиды пика с энергией 661,7 кэВ, канал при загрузке, имп/с		Относительное энергетическое разрешение, %		Относительное смещение положения центроид пиков δ_c , %	Относительного изменения энергетического разрешения δ_η , %
	$1 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$		
БДЕБ-						



Таблица 3.8.4

Результаты испытания спектрометра с блоками детектирования БДБ- ... БДА-...

Номер измерения	Интенсивность, имп/с	Активность, Бк	Активность из свидетельства о поверке, Бк	Отклонение, %
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее				

3.9 Результаты определения

- чувствительности к альфа - излучению радионуклида ^{239}Pu для источника типа ЗП9 на расстоянии 3 мм от торцевой поверхности блока детектирования;
- определение чувствительности к бета - излучению радионуклида $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ для источника типа ЗС0 на расстоянии 3 мм от торцевой поверхности блока детектирования;
- определение фона альфа и бета – излучения;

Таблица 3.9.1 Результаты испытаний с блоком БДА- ... , БДБ-..., БДЕБ-....

Активность радионуклидного источника, Бк	Скорость счета от источника n, имп/с	Скорость счета фона n _ф , имп/с	Чувствительность ε, (имп/с)/ Бк	Станд. неопр. чувствит., %	Расш.неопред. чувствит. U _ε , %

4 Заключение _____

Поверитель _____

личная подпись

расшифровка подписи

год, месяц, число