



190005, Санкт-Петербург,
наб. р. Фонтанки, д.116, лит. «Б»;

Тел.320-6517, тел/факс 322-5572. info@radek.ru / www.radek.ru

УТВЕРЖДАЮ
Директор "НТЦ Радэк"


Ф.Н. Шикаленко

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР-РАДИОМЕТР ГАММА- И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЙ МКГБ-01 «РАДЭК»

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ



ч. р. 24730-08

Составитель


Р.М. Габитов

2008 г.





Оглавление

	Стр.
1. Назначение и состав сцинтилляционного γ - β -спектрометра МКГБ-01	3
2. Диапазон измерения и характеристики погрешности измерения	3
3. Условия измерений	4
4. Метод измерения	5
5. Размещение и установка спектрометра	5
6. Подготовка спектрометра к работе	6
7. Порядок работы на спектрометре	6
7.1. Измерение аппаратурных спектров	7
7.2. Контрольные измерения	7
7.2.1. Контроль и коррекция усиления γ - β спектрометра	8
7.2.2. Контроль фона	8
7.2.3. Контроль чувствительности γ - β спектрометра	9
7.2.4. Градуировка γ - β спектрометра по энергии	10
7.2.5. Определение энергетического разрешения	13
8. Завершение работы на аналитическом комплексе	13
Список приложений	
1. Определение удельных активностей радионуклидов методом окон.	14
2. Определение удельных активностей радионуклидов методом анализа отдельных пиков.	16
3. Техническое описание γ - спектрометра МКГБ-01	20
4. Методика поверки	26



1. Назначение и состав сцинтилляционного γ - β -спектрометра МКГБ-01

Сцинтилляционный γ - β -спектрометр МКГБ-01 предназначен для измерения сцинтилляционных спектров γ - и β -излучения радионуклидов, а также для измерения активностей (удельных активностей) γ -излучающих радионуклидов в пробах почв, растительности, воды, продуктов питания, строительных материалов и других веществ с объемным весом от 0.2 до 2.0 г/см³, а также ⁹⁰Sr в пробах биологического происхождения и других материалах.

Основу комплекса составляет персональный компьютер IBM PC, соединенный через параллельный порт с многоканальным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) "MD-129" или через порт USB с АЦП "MD-198".

Для измерения γ -спектров служит сцинтилляционный блок детектирования БДЕГ-80 (БДЕГ-63, БДЭГ-150) на основе монокристалла NaI(Tl). Детектирование β -излучения осуществляется блоком БДЕБ-60 на основе полистирола. Блоки детектирования помещены в малофоновые свинцовые камеры для снижения фона на месте измерения.

В типовом варианте спектрометр откалиброван для определения активностей (удельных активностей) ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²²²Rn и ¹³⁷Cs в геометрии сосуд Мариелли объемом 1 л и цилиндрический сосуд объемом 250 мл, ⁹⁰Sr в сосуде объемом 38 мл.

По согласованию с заказчиком спектрометр может быть откалиброван для определения активностей, как других радионуклидов, так и в других геометриях.

Другие возможности спектрометра МКГБ-01 даны в описании программного обеспечения *ASW*. Радиометр МКГБ-01 может использоваться в качестве компаратора; для съемки в движении; в качестве спектрометра излучения человека (СИЧ).

2. Диапазон измерения и характеристики погрешности измерения

2.1. Диапазон измерения удельной активности радионуклидов в пробах в типовом варианте и характеристики погрешности измерения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Радионуклид	Диапазон измерения, Бк/кг при объемном весе проб, г·см ⁻³			Доверительные границы погрешности измерения на краях диапазона, % (P=0.95)
	0.2	1.0	2.0	
²²⁶ Ra	50 - - 1·10 ⁴	12 - - 2·10 ⁴	8 - - 1·10 ⁴	35 10
²³² Th	35 - - 2·10 ³	8 - - 8·10 ³	6 - - 4·10 ³	35 10
⁴⁰ K	150 - - 1·10 ³	50 - - 16·10 ³	30 - - 16·10 ³	40 10
¹³⁷ Cs	20 - - 4·10 ³	5 - - 2·10 ⁴	3 - - 1·10 ⁴	35 10
²²² Rn в воде	-	2 - - 1·10 ⁴	-	35 15
⁹⁰ Sr	100 - 5·10 ³	25 - 5·10 ³	50 - - 3·10 ³	40 20

Примечания: 1. Доверительные границы определены для однократного измерения.

2. Доверительные границы погрешности измерения для промежуточных значений диапазона измерения рассчитывают программой "ASW".

3. В ряду ²³²Th нет нарушения равновесия между ²²⁶Ra и ²²⁸Th.

4. Нижняя граница диапазона измерения ²²²Rn в воде дана для времени измерения 4 часа.



2.2. Диапазон измерения активности радионуклидов в счетном образце, характеристики погрешности измерения и допустимая активность сопутствующих радионуклидов в счетном образце приведены в таблице 2.

Таблица 2

Радионуклид	Диапазон измерения, Бк	Доверительные границы погрешности измерения на краях диапазона, % (P=0.95)	Активность сопутствующих радионуклидов в счетном образце
^{226}Ra	12 - - $20 \cdot 10^3$	30 9	$A_{\text{Th}}/A_{\text{Ra}} < 5$, $A_{\text{Cs}} < 1000$ Бк $A_{\text{Th}}/A_{\text{Ra}} < 5$, $A_{\text{Cs}} < 5000$ Бк
^{232}Th	8 - - $80 \cdot 10^2$	30 9	$A_{\text{Ra}}/A_{\text{Th}} < 10$, $A_{\text{Cs}} < 1000$ Бк $A_{\text{Ra}}/A_{\text{Th}} < 20$, $A_{\text{Cs}} < 5000$ Бк
^{40}K	50 - - $20 \cdot 10^3$	30 9	$A_{\text{Ra}} + A_{\text{Th}} < 500$ Бк, $A_{\text{Cs}} < 500$ Бк $A_{\text{Ra}} + A_{\text{Th}} < 1000$ Бк, $A_{\text{Cs}} < 2000$ Бк
^{137}Cs	5 - - $20 \cdot 10^3$	30 9	$A_{\text{Ra}} + A_{\text{Th}} < 500$ Бк $A_{\text{Ra}} + A_{\text{Th}} < 5000$ Бк
^{222}Rn в воде	2 - - $1 \cdot 10^4$	35 15	-
^{90}Sr	1 - - $20 \cdot 10^1$	40 20	$A_{\text{K}} < 10$ Бк, $A_{\text{Cs}} < 10$ Бк $A_{\text{K}} < 20$ Бк, $A_{\text{Cs}} < 20$ Бк

- Примечания:** 1. Доверительные границы определены для однократного измерения.
2. Доверительные границы погрешности измерения для промежуточных значений диапазона измерения рассчитывают программой "ASW".
3. A_{Ra} , A_{Th} , A_{K} , A_{Cs} - измеренные значения активности радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs в счетном образце.
4. В ряду ^{232}Th нет нарушения равновесия между ^{228}Ra и ^{228}Th .

2.3. Диапазон измерения и доверительные границы погрешности для радионуклидов, определяемых методом анализа отдельных пиков (с использованием калибровок по эффективности), оговариваются при специальном заказе.

3. Условия измерений

Погрешности измерений, указанные в п. 2, обеспечиваются при выполнении следующих условий:

- геометрия измерения: сосуд Маринелли объемом 1 л (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{222}Rn), цилиндрический сосуд объемом 250 мл (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs), сосуд 38 мл (^{90}Sr);
- значение плотности счетного образца находится в пределах от 0.2 до 2 г/см³;
- значения активности сопутствующих радионуклидов в счетном образце соответствуют условиям, указанным в табл.2;
- активность гамма-излучающих радионуклидов в счетном образце, кроме указанных в табл.1 и 2 (и дочерних изотопов урана и тория), не более 20 Бк,
- время измерения счетного образца не менее:
 - для геометрии "сосуд Маринелли" - 2400 с,
 - для геометрии "цилиндрический сосуд объемом 250 мл" - 1 ч,
 - для геометрии "цилиндрический сосуд объемом 38 мл" - 3 ч;
- погрешность измерения массы счетного образца не превышает ± 1 % (P=0.95)
- значение мощности экспозиционной дозы, на поверхности защиты спектрометра не превышает 20 мкР/ч;
- условия эксплуатации радиометра-спектрометра соответствуют требованиям, п. 5. настоящего Руководства.



4. Метод измерения

4.1. Метод измерения предполагает, что из отобранной пробы изготавливают счетный образец. При этом технологические операции изготовления счетного образца из пробы должны обеспечить идентичность радионуклидного состава и равенство значений удельной активности радионуклидов для счетного образца и пробы, из которой он был изготовлен.

4.2. Измерение активности радионуклидов в счетных образцах фиксированной массы проводят методом прямых, однократных измерений.

Спектрометр отградуирован в единицах активности радионуклидов по образцовым мерам активности радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{222}Rn , ^{137}Cs , ^{90}Sr в диапазоне плотностей от 0.2 до 2 г·см⁻³, изготовленным в виде сосудов Маринелли объемом 1 л, цилиндрических сосудов объемом 250 мл, а также сосудов объемом 38 мл.

Значения активности, удельной активности радионуклидов, случайной и суммарной погрешности результата измерения рассчитываются автоматически, без участия оператора, по алгоритму программы *ASW* на основе измеренных спектров счетного образца и коэффициентов чувствительности, полученных при калибровке спектрометра. Обработку спектров программа *ASW* выполняет по алгоритму, основанному на матричном методе.

4.3. Если радионуклидный состав пробы отличается от стандартного, используется метод определения активностей радионуклидов методом анализа отдельных пиков в измеренном спектре. Результаты анализа рассчитываются программой *ASW* с использованием калибровок по эффективности, рассчитанных по спектрам образцовых мер активности радионуклидов.

4.4. Активность, удельную активность радионуклидов в счетном образце и значения погрешности измерения наблюдают непосредственно на дисплее ЭВМ.

5. Размещение и установка спектрометра

5.1. Спектрометр размещают в помещении с нормальными климатическими условиями:— температура окружающего воздуха, °С — 20 ± 5;
— относительная влажность воздуха, % от 30 до 80;
— атмосферное давление, кПа, от 84 до 106.7;
— питание — от сети переменного тока напряжением 220^{+10%}_{-15%} В частотой (50 ± 1) Гц.

5.2. Спектрометр устанавливают на рабочем месте таким образом, чтобы был обеспечен свободный доступ к ЭВМ, каркасу спектрометра и защитной камере.

Окружающие предметы и стены в месте расположения защитных камер не должны препятствовать открытию крышки камеры при установке в них счетных образцов.

5.3. Мощности экспозиционной дозы, на месте установки защиты спектрометра не должна превышать 20 мкР/ч;

Внимание: *запрещается устанавливать блоки комплекса вблизи сильноточной и нагревательной аппаратуры (мощные силовые трансформаторы, электродвигатели, электромагниты, муфельные печи, электроплитки, радиаторы электрического и водяного отопления).*

5.4. Первоначальную сборку защитных камер, установку блоков детектирования, подключение блоков и узлов комплекса выполняют, как правило, представители НТЦ "Радэк" в процессе пусконаладочных работ.

В процессе эксплуатации комплекса **не рекомендуется** изменять пространственное положение (ориентировку вдоль оси) сцинтилляционных блоков детектирования во избежание изменения электронной фокусировки ФЭУ магнитным полем Земли. После извлечения блока детектирования из защиты, например, для проведения дезактивации



необходимо установить его в первоначальное положение и провести градуировку спектрометра по энергии в соответствии с п. 7.2.4.

Порядок установки комплекса:

- собрать защитную камеру и установить в нее блок детектирования;
- подключить к блоку питания LV шнур сетевого питания, соединить при-
данными кабелями блоки питания, блок детектирования, плату АЦП, ЭВМ, монитор;
- подключить вилки сетевого питания компьютера к заземленным розеткам.

6. Подготовка спектрометра к работе

6.1. Произвести внешний осмотр прибора и проверить надежность подключения соединительных кабелей к узлам и блокам.

6.2. Подключить блок питания LV к сети 220 В.

6.3. Включить блок питания LV; на лицевых панелях блоков каркаса загорятся светодиоды.

6.4. Включить ЭВМ. После загрузки ЭВМ запустить программу "ASW" (см. п.1. программного обеспечения)*.

6.5. Проконтролировать установленные параметры АЦП (п. 3.); при необходимости подкорректировать установки.

6.6. По истечении тридцати минут после включения блока питания, радиометр-спектрометр готов к работе.

7. Порядок работы на спектрометре.

Все операции по измерению спектров и настройкам прибора можно проводить как в ручном, так и в пошаговом режиме. Пошаговый режим подробно изложен в описании программного обеспечения (п.п. 18 - 19).

7.1. Измерение аппаратурных спектров

7.1.1. Подготовить радиометр-спектрометр к работе в соответствии с разделом 6.

7.1.2. Выбрать файл калибровки и фоновый спектр на вкладке «Устройство» (п. 3. табл. 2).

7.1.3. Установить в защитную камеру счетный образец, изготовленный из пробы, объемный контрольный образец, фоновую пробу или контрольный источник (^{137}Cs , ^{232}Th , $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$), после чего закрыть камеру. Перед измерением фона удалить все источники излучения, находящиеся в малофоновой камере или вблизи нее.

7.1.4. Установить время измерения на вкладке «Устройство» (п. 3. табл. 2). Экспозиция составляет:

- при измерении контрольных источников ^{137}Cs - (200-500) с;
- при измерении контрольных источников ^{232}Th и $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ - (300 - 500) с;
- при измерении контрольных образцов - не менее 0.5 часа;
- при измерении счетного образца в гамма-канале - не менее (0.5 - 1) часа, в бета-канале - не менее (1 - 4) часов;
- при измерении фона - не менее 1 часа.

Заполнить, при необходимости, данные об измеряемом спектре на вкладке «Об измеряемом спектре» (п. 3. табл. 3).

Внимание: при измерении счетных образцов и объемных контрольных образцов окна "Масса" и "Объем" должны быть обязательно заполнены. Масса и объем необходимы для вычисления объемного веса счетного образца и проведения рас-

* здесь и далее жирным курсивом даны ссылки на пункты описания программы ASW.



чета удельной активности. Значения массы и объема указать в единицах (kg и l для гамма-канала или g и ml для бета-канала).

7.1.5. Набрать и сохранить спектр (п. 5.).

7.1.6. Рассчитать удельные активности радионуклидов в счетном образце или объемном контрольном образце и погрешности измерения (пп. 9., 14.).

7.1.7. Сохранить результаты расчета на диске (приложения 1 и 2).

7.2. Контрольные измерения

Контрольные измерения проводят с целью оперативной и периодической проверки работоспособности спектрометра, измерения фонового спектра. Контрольные измерения включают:

- контроль усиления (в начале работы, далее через каждые 2...3 часа);
- контроль фона (еженедельно, а при измерении проб с удельной активностью радионуклидов более $1 \cdot 10^4$ Бк/кг – ежедневно);
- измерение объемного образца для контроля чувствительности спектрометра (еженедельно);
- градуировку по энергии и определение энергетического разрешения (при вводе в эксплуатацию, далее – по мере необходимости).

Указанная периодичность проведения контрольных измерений рекомендуется исходя из опыта работ с прибором.

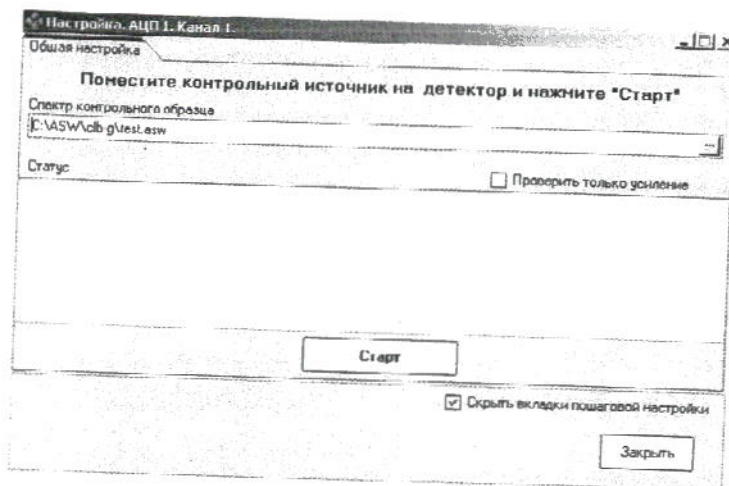
Контрольные измерения могут проводиться как в автоматическом режиме (оператор только устанавливает/убирает калибровочный источник), так и в пошаговом режиме. Рекомендуется использовать автоматический режим настройки (в программе термин “Общая настройка”) (см. рис.) как более надежный и менее зависящий от ошибки оператора.

Для включения режима **Настройка** для выбранного канала нужно нажать на кнопку



Настройка

По нажатию этой кнопки откроется окно с одной вкладкой “Общая настройка”. Все внутренние параметры для обеспечения настройки поставляются в установочном пакете и не требуют дополнительных манипуляций



В поле “Спектр контрольного образца” должен быть указан путь к контрольному спектру. По-умолчанию он уже прописан в этом поле. Если файл отсутствует, его можно измерить самостоятельно. Этот спектр получают на этапе первичной калибровки, измеряя калибровочный источник в нормальных условиях, сразу после пошаговой настройки. В нем сохраняется изначальная градуировочная характеристика, в соответствии с которой и проводится настройка спектрометрического тракта.

Для начала настройки необходимо установить калибровочный источник на детектор и нажать кнопку “Старт” в окне “Настройка”. Начнется измерение спектра (для γ -тракта несколько итераций по 60 секунд, для β -тракта итерации по 100 секунд). В поле



статус будет отображаться журнал происходящих действий и комментарии о результатах очередного контроля.

Всего в настройке присутствует четыре вида контроля: 1 - настройка усиления; 2 - градуировка по энергии; 3 - контроль фона; 4 - контроль чувствительности.

После нажатия кнопки "Старт" выполняется контроль 1 и 2, затем программа предлагает убрать источник с детектора и нажать кнопку "Продолжить" и проводит контроль фона. После измерения фона (контроля 3) сразу же выдается результат по контролю 4 (чувствительность).

Так как проводить настройку, включающую контроль градуировки, фона и чувствительности часто нет необходимости, то для оперативного контроля оставляют только контроль усиления. Для ограничения настройки установите флажок "Проверить только усиление".

В более ранней версии программы "ASW" в основном использовался пошаговый режим настройки. Для возврата к нему необходимо убрать флажок "Скрыть вкладки пошаговой настройки". Появятся дополнительные четыре вкладки, соответствующие каждому из контролей (контроль усиления по первой точке, по второй точке, контроль фона и контроль чувствительности). Следует обратить внимание, что для общей настройки используется один калибровочный источник, а для пошаговой настройки два или три. Не следует использовать источники для общей настройки при пошаговой и наоборот.

Пошаговый режим настройки спектрометра изложен ниже.

7.2.1. Контроль и коррекция усиления γ - β -спектрометра.

7.2.1.1. Нажать кнопку «Настройка». Установить контрольный источник ^{137}Cs из комплекта спектрометра в рабочее положение.

7.2.1.2. Нажать кнопку «Старт» и действовать в соответствии с подсказками программы (п. 18. Шаг 1.).

7.2.1.3. Установить контрольный источник ^{232}Th (гамма-канал) или $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ (бета-канал) из комплекта спектрометра в рабочее положение.

7.2.1.4. Нажать кнопку «Старт» и действовать в соответствии с подсказками программы (п. 18. Шаг 2.).

7.2.2. Контроль фона.

Внимание: перед измерением фона источники излучения из защитной камеры необходимо удалить.

При всех измерениях фона рекомендуется записывать в рабочий журнал входную загрузку (п. 7).

7.2.2.1. Установить на блок детектирования фоновую пробу (измерительную кювету, заполненную кварцевым песком или дистиллированной водой, в гамма-канале или пустую кювету в бета-канале).

7.2.2.2. Измерить спектр фона в соответствии с п.7.1. Время измерения должно составлять (0.5 - 1) часа.

7.2.2.3. После записи нового фонового спектра выполнить контроль фона. Для этого открыть модуль "Пакет" (п. 23.), затем вкладку "Контроль фона", и действовать в соответствии с описанием программы.

Программа оценивает статистическое различие сумм скоростей счета в рабочих окнах. Если статистическое отличие спектров незначимо (при доверительной вероятности $P=0.95$) в графе "Результат" появляется сообщение "Норма".

В случае значимого отличия спектров (в графе "Результат" дается цифра отличия спектров фона), необходимо установить и устранить причину повышения



фона. Такими причинами могут быть неплотно закрытая крышка защиты, неубранные из защиты источники излучения, источники, находящиеся рядом с защитой, загрязнение детектора и внутренней поверхности защиты материалом активных проб, загрязнение внешней поверхности фоновой пробы, изменение энергетической калибровки.

Для снижения фона необходимо провести дозиметрический контроль вблизи защитных камер и внутри них с целью обнаружения источников излучения и участков локального радиоактивного загрязнения. Дополнительно выполняют дезактивацию измерительной камеры, детектора и внешней поверхности фоновой пробы. В случае извлечения детектора из защиты для дезактивации необходимо соблюдать требование п. 5.4.

7.2.2.4. После проведения мероприятий по снижению фона провести повторный контроль усиления (п.7.2.1.) и измерение фона (п.п. 7.2.2.1.-7.2.2.3.). Если отличие нового и используемого ранее фонового спектров остается значимым, провести заново градуировку спектрометра по энергии (раздел 7.2.4.11.), измерить фон и использовать для обработки результатов измерений полученный спектр.

7.2.3. Контроль чувствительности γ -спектрометра.

7.2.3.1. Установить в защитную камеру объемный контрольный образец с известными активностями (удельными активностями) радионуклидов.

7.2.3.2. Измерить и записать спектр контрольного образца в соответствии с разделом 7.1. Установить время измерения не менее 1800 с.

7.2.3.3. После записи нового спектра выполнить контроль чувствительности. Для этого открыть модуль "Пакет" (п. 23.), затем вкладку "Контроль чувствительности", и действовать в соответствии с описанием программы.

Программа оценивает отличие измеренных и паспортных значений активностей (удельных активностей) радионуклидов в контрольном образце с учетом погрешностей их определения. Если указанные отличия незначимы (при доверительной вероятности $P=0.95$), в графах с наименованиями радионуклидов появляется сообщение "Норма".

В случае значимого отличия измеренных и паспортных значений активностей (удельных активностей) в графах с наименованиями радионуклидов даются цифры относительного отклонения измеренных значений от паспортных, необходимо установить и устранить причину значимого изменения чувствительности.

7.2.3.4. Возможные причины значимого отличия измеренных и паспортных значений удельных активностей в контрольном образце

- *неправильная установка контрольного образца на детектор;*
- *изменение усиления спектрометра;*
- *выбор неверного фонового спектра;*
- *изменение фона;*
- *наличие дополнительных источников излучения в защитной камере или рядом с ней;*
- *неправильная энергетическая градуировка;*
- *выбор файла калибровок для другой геометрии;*
- *ошибки в записи массы и объема контрольного образца в данных об измеряемом спектре;*
- *ухудшение энергетического разрешения блока детектирования.*

После выяснения и устранения ошибок выполнить текущую градуировку γ -спектрометра по энергии (п. 7.2.4.11.), установить время измерения 3000 с и повторить контроль чувствительности.



7.2.4. Градуировка γ - β -спектрометра по энергии.

Первоначальную градуировку энергетической шкалы спектрометров, как правило, проводят представители "НТЦ Радэк" при установке комплекса.

Усиление спектрометрического тракта подбирается таким образом, чтобы ширина одного канала анализатора составляла около 3 кэВ, что соответствует энергетическому диапазону регистрации до 3000 кэВ. Для этого пик полного поглощения γ -излучения радионуклида ^{137}Cs с энергией 661,7 кэВ рекомендуется располагать в 220 (± 2) канале, пик конверсионных электронов радионуклида ^{137}Cs с энергией 624 кэВ в 205 (± 2) канале.

Порядок первоначальной градуировки.

7.2.4.1. Открыть вкладку "Устройство" (п. 2.) и заполнить окна:

– «УИ» – 128;

– «Канал» и «Энергия» значениями, приведенными в описании программы (п. 2.).

7.2.4.2. Подготовить контрольные источники ^{137}Cs и ^{232}Th для гамма-канала, а также ^{137}Cs и $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ для бета-канала.

Энергетическая калибровка гамма-канала проводится по двум линиям спектра, соответствующим пикам полного поглощения с энергией 661,7 кэВ ^{137}Cs и 2614,5 кэВ радионуклида ^{232}Th .

Энергетическая калибровка бета-канала проводится по пику конверсионных электронов с энергией 624 кэВ радионуклида ^{137}Cs и граничной энергии бета-излучения с энергией 2280 кэВ радионуклида ^{90}Y .

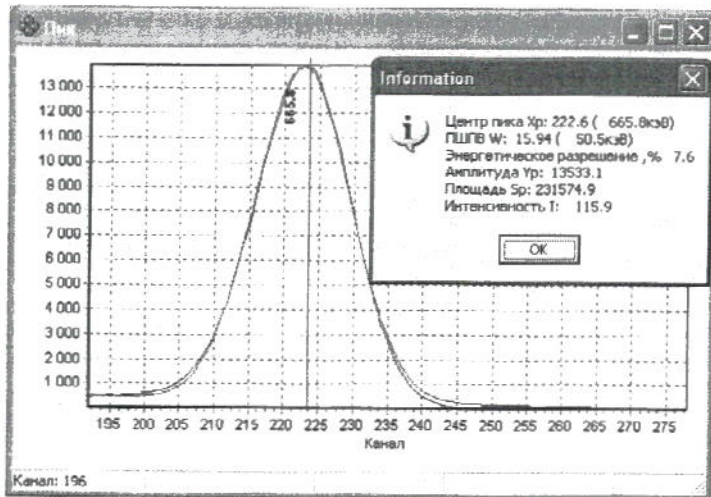
7.2.4.3. Градуировка гамма-канала

7.2.4.3.1. Установить на детектор контрольный источник ^{137}Cs .

7.2.4.3.2. Набрать и сохранить спектр, выполнив операции по п.п. 7.1.4. - 7.1.5.

7.2.4.3.3. Выделить в спектре пик полного поглощения, и определить его центр тяжести, применив процедуру «Гaussиан» (п. 11.).

7.2.4.3.4. Если центр тяжести пика находится в каналах от 200 до 240, перейти к п. 7.2.1.2.



7.2.4.3.5. если условие 7.2.4.3.4 не выполнено – открыть панель "Устройство" (п. 2.) и изменить значение кода в окне "УИ". Уровень управляющего напряжения нужно увеличить, если пик ^{137}Cs попадает в канал до 200, и уменьшить, когда центр тяжести пика находится в канале больший, чем 240. Следует учесть, что изменению кода на единицу соответствует изменение положения пика ^{137}Cs примерно на один канал.

Повторить операции по п.п. 7.2.4.3.2. и 7.2.4.3.3. до выполнения условий п. 7.2.4.3.4.

7.2.4.3.6. Выполнить процедуру контроль и коррекция усиления γ -спектрометра по п. 7.2.1.2.

7.2.4.3.7. Установить источник ^{232}Th . Набрать и сохранить спектр, выполнив операции по п.п. 7.1.4. - 7.1.5.



Фрагмент спектра контрольного источника ^{232}Th дан на рис. 2. Вертикальная линия положения указателя мыши соответствует центру тяжести пика с энергией 2614.5 кэВ.

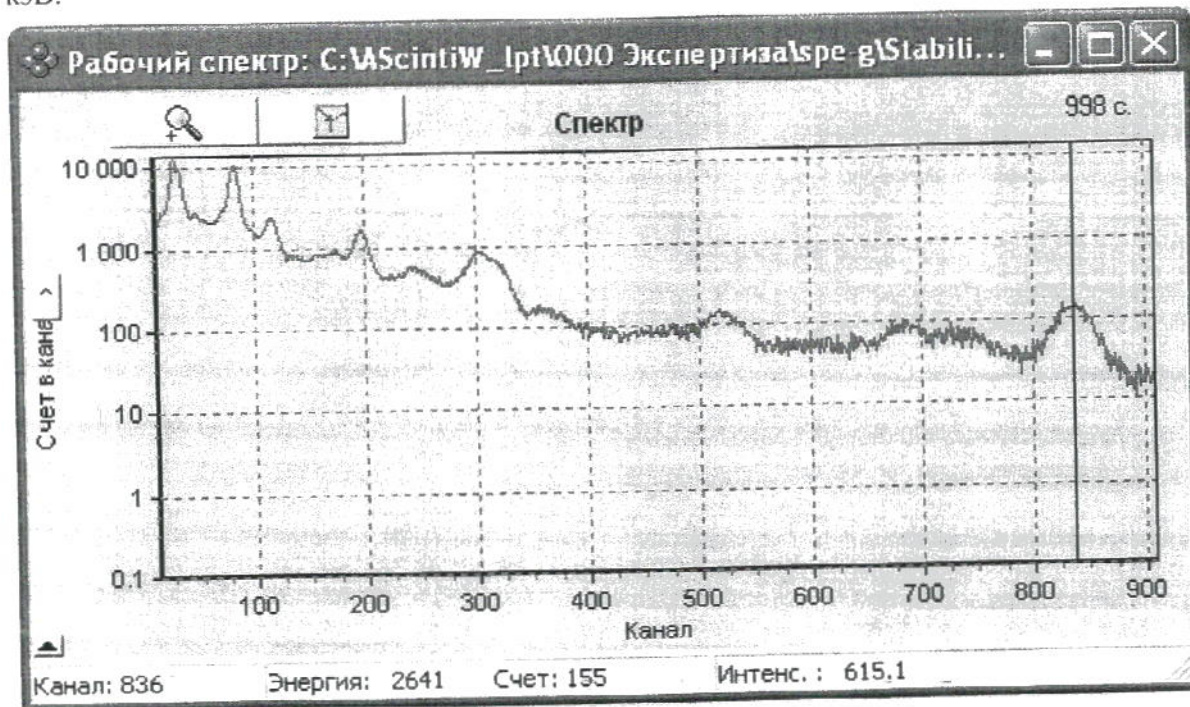
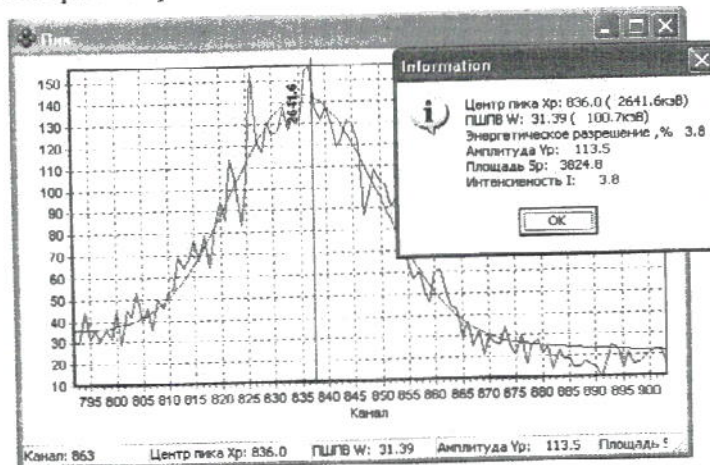


Рис. 2. Фрагмент спектра контрольного источника ^{232}Th

7.2.4.3.8. Выделить в спектре пик полного поглощения, соответствующий энергии 2614.5 кэВ, и определить его центр тяжести, применив процедуру «Гaussиан» (п. 11). Закрыть панель сообщения.

7.2.4.3.9. Открыть на рисунке спектра вкладку «Параметры» и вписать значение центра тяжести пика в каналах, приведенное на панели (в данном примере 836.0) в окно «Канал 2».



7.2.4.3.10. Установить указатель мыши в поле спектра, щелкнуть правую клавишу мыши и выбрать команду «Передать градуировку в МИ». Данные калибровки заносятся в соответствующие разделы панели «Устройство».

Примечание. Процедура по п.п. 7.2.4.3.8. – 7.2.4.3.10. может использоваться для коррекции калибровки гамма-спектров измеренных счетных образцов. В спектрах проб окружающей среды (за исключением проб биологического происхождения) содержится в том или ином количестве радионуклид ^{232}Th . Соответственно и в спектрах есть пик полного поглощения, соответствующий энергии 2614.5 кэВ. Этот же пик виден и на спектре гамма-фона, измеренного за достаточно продолжительное время.

Фрагмент спектра гамма-фона дан на рис. 3. Вертикальная линия положения указателя мыши соответствует центру тяжести пика с энергией 2614.5 кэВ.

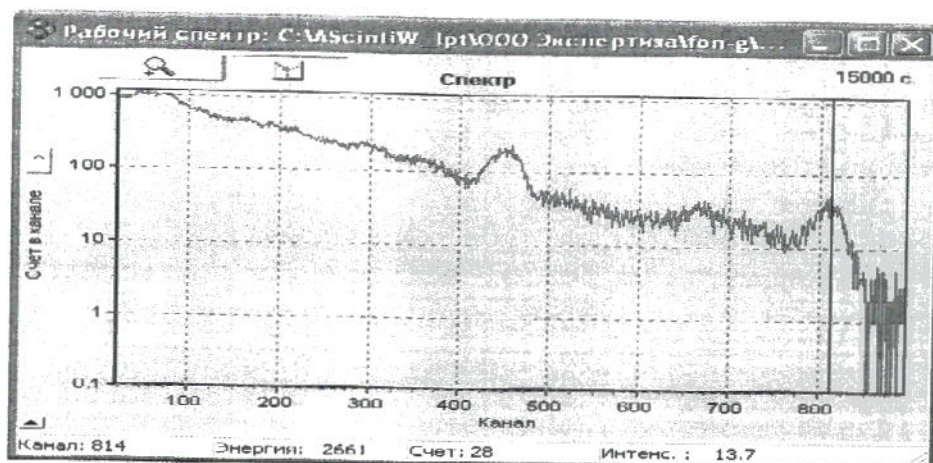
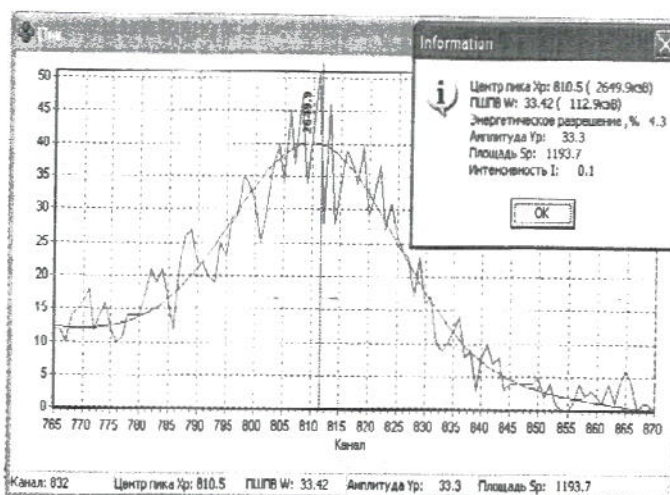


Рис. 3. Фрагмент фонового спектра в гамма-канале

Процедура «Гауссиан», примененная к выделенному пику с энергией 2614.5 кэВ показывает, что его центр тяжести располагается в канале 810.5.

Именно это значение необходимо занести во второй столбец окна «Канал 2» вкладки «Параметры», как это указано в п. 7.2.4.3.9, после чего нажать кнопку «Сохранить спектр».

Данное уточнение калибровки справедливо только для указанного спектра.

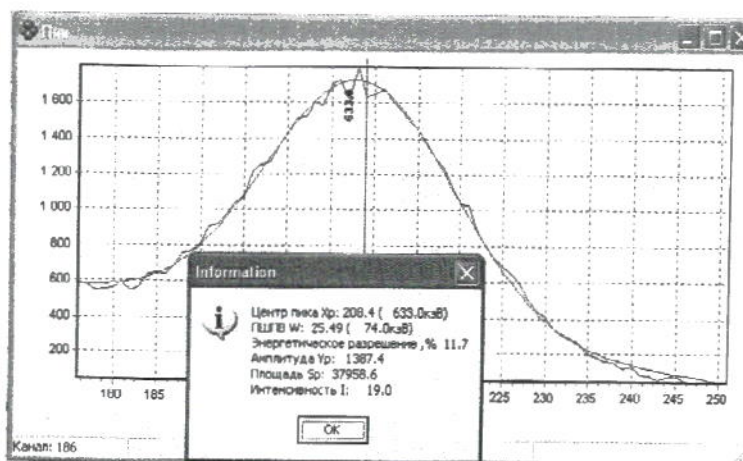


7.2.4.4. Градуировка бета-канала

7.2.4.4.1. Установить на детектор контрольный источник ^{137}Cs (пленка на подставке).

7.2.4.4.2. Набрать и сохранить спектр, выполнив операции по п.п. 7.1.4. - 7.1.5.

7.2.4.4.3. Выделить в спектре пик конверсионных электронов, и определить его центр тяжести, применив процедуру «Гауссиан» (п. 11.).



7.2.4.4.4. Если центр тяжести пика находится в каналах от 180 до 220, нужно перейти к п. 7.2.1.2.

7.2.4.4.5. если условие 7.2.4.4.4 не выполнено – открыть панель «Устройство» (п. 2.) и изменить значение кода в окне «УН». Уровень управляющего напряжения нужно увеличить, если пик ^{137}Cs попадает в канал до 180, и уменьшить, когда центр тяжести



пика находится в канале больший, чем 220. Следует учесть, что изменению кода на единицу, соответствует изменение положения пика ^{137}Cs примерно на один канал.

Повторить операции по п.п. 7.2.4.4.2. и 7.2.4.4.3. до выполнения условий п. 7.2.4.4.4.

7.2.4.4.6. Выполнить процедуру контроль и коррекция усиления β - спектрометра по п. 7.2.1.2.

7.2.4.4.7. Установить источник $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$. Набрать и сохранить спектр, выполнив операции по п.п. 7.1.4. - 7.1.5.

Фрагмент спектра контрольного источника $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ дан на рис. 4.

7.2.4.4.8. Установить указатель мыши в поле спектра, щелкнуть правую клавишу мыши и выбрать команду "Бета-калибровка" (п.9.). По этой команде находится положение канала, соответствующее граничной энергии 2280 кэВ радионуклида ^{90}Y . Появившееся сообщение нужно подтвердить.

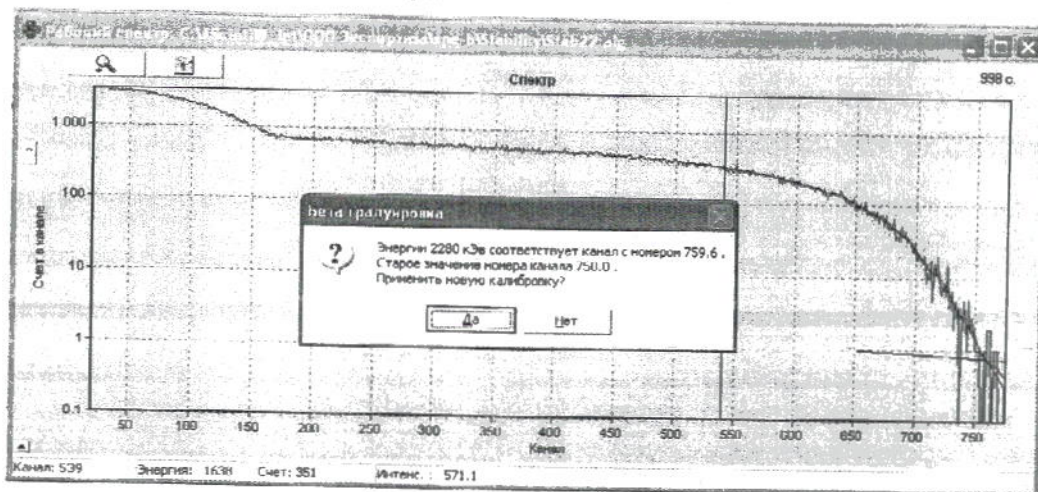


Рис. 4. Фрагмент спектра контрольного источника $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$

7.2.4.4.9. Измеренный спектр контрольного источника $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ можно сохранить в качестве калибровочного (п. 18.). Для этого нужно открыть вкладку "Параметры" в окне спектра, нажать кнопку в окне "Имя файла" перейти в каталог **clb-b** и сохранить под именем **sr_y_clbr.alg**.

Порядок текущей градуировки γ - β -спектрометра.

Текущая градуировка по энергии выполняется в процессе контроля и коррекции усиления (п. 7.2.1).

7.2.5. Определение энергетического разрешения.

Сохранение энергетического разрешения – один из показателей стабильности работы спектрометра. Для его определения выполняют операции по п.п. 7.1.4. и 7.1.5., увеличив экспозицию измерений до 2000 с. Значение энергетического разрешения (%) выписывается с панели, выведенной после процедуры «Гaussian» (п. 11.). Его величина не должна отличаться от паспортной более, чем на $\pm 0,2\%$.

8. Завершение работы на аналитическом комплексе

- 8.1. Завершить работу программы "ASW" (команда «Выход» из меню «Файл»).
- 8.2. Удалить из защитной камеры источники, контрольный или счетный образец.
- 8.3. Выключить блок питания LV.
- 8.4. Выключить компьютер.



Приложение 1

Определение удельных активностей радионуклидов методом окон.

Последовательность вычисления удельных активностей радионуклидов.

Загрузить рабочий спектр. (Меню "Файл"- "Открыть спектр").

На вкладке "Параметры" открытого рабочего спектра в поле "Фон" загрузить спектр фона, а в поле "Калибровка" – нужный файл калибровок.

Для расчета активностей выполнить команду «Расчет» из контекстного меню в поле рабочего спектра.

Нуклид	Активность, Бк	Случ.погр.%,	Уд.активность, ...	Абс.погр.Бк/кг	Отн.погр.%(P=0.95)
Pa-226	1030	13.9	1200	199.5	16.7
Th-232	6940	0.7	8070	807	10.0
K-40	1520	34.4	1760	727	41.3
Cs-137	< 38.2	-	< 44.4	-	-

Аэфф = 11850 ± 1068 Бк/кг

Калибровка: C:\RAD1\MP_006-R.CLB
Фоновый спектр: C:\RAD1\FON27MJ.ALG
Рабочий спектр: C:\RAD1\MASN22.asw
Дата приведения активности: 25.08.1999 14:20:49
Дата измерения спектра: 25.08.1999 14:20:49
Живое время: 956.00 с. Реальное время: 956.00 с.
Масса образца: 0.860 кг; Объем образца: 1.000 л
Комментарий: Проба

Зоны интереса. Фон выключен.
ROI 300 - 500 кэВ : 431.18 имп/с
ROI 600 - 800 кэВ : 187.57 имп/с
ROI 800 - 2000 кэВ : 348.02 имп/с

Рис. 1.1.

Выведенная по команде «Расчет» таблица «Результат» содержит графы «Нуклид», «Активность», относительную погрешность подбора формы спектра, а также графы рассчитанных удельных активностей, абсолютных и относительных погрешностей их определения.

В строках под таблицей приводится значение эффективной удельной активности естественных радионуклидов $A_{эфф}$, наименование использованных файлов калибровок, файлов фонового и рабочего спектра, дату, на которую рассчитана активность, а также массу и объем счетного образца, коэффициент концентрирования, если он учитывался.

После комментария следует блок данных по зонам интереса, если в "Параметрах" стоит указатель о том, что его надо рассчитывать и выводить.

Для сохранения таблицы «Результат» нужно щелкнуть правой клавишей мыши в ее поле, а затем выбрать в появившемся окне одну из команд: "Сохранить данные в протокол", "Передать данные в MS Word", "Передать в БД" или "Создать отчет".

Для сохранения данных в протокол необходимо прописать название его файла в разделе "Параметры" (меню "Опции"- "Параметры"). Данные будут передаваться в конец текстового файла.

При создании отчета выводится окно отчета, где в блоке предварительного просмотра показана таблица активностей и блок комментариев (рис.1.2). На лист можно добавить титульную информацию.

Панель инструментов: Титул, Таблица активностей, Дополнительные данные

Кнопки: Обновить, Печать, Сохранить...

Страница: 1 из 1

Нуклид	Активность, Бк	Случ. погр., %	Уд. активность, Бк/кг	Абс. погр. Дл/кг	Отн. погр., % (P=0.95)
Ra-226	1030	13.9	1200	199.5	16.7
Th-232	6940	0.7	8070	807	10.0
K-40	1520	34.4	1760	727	41.3
Ce-137	< 38.2	-	< 44.4	-	-

Лэфф - 11860 ± 1068 Бк/кг

Калибровка: C:\RAD\1MR_006-R.clb
 Фоновый спектр: C:\RAD\1\FON27MJALG
 Рабочий спектр: C:\RAD\1\OMASN22.asw
 Дата приведения активности: 25.08.1999 14:20:49
 Дата измерения спектра: 25.08.1999 14:20:49
 Живое время: 956.00 с. Реальное время: 956.00 с.
 Масса образца: 0.860 кг. Объем образца: 1.000 л
 Комментарий: Проба

Зоны интереса: Фон вычтен.
 ROI 300 - 500 кэВ : 431.18 имп/с
 ROI 600 - 800 кэВ : 187.57 имп/с
 ROI 1000 - 2000 кэВ : 348.02 имп/с

Рис.1.2.

После внесения каких-либо изменений (редактирование титула, отключение/включение полей) необходимо нажать кнопку **“Обновить”**.

Для печати листа показанного в правой части окна (т.н. блок предпросмотра) предназначена кнопка **“Печать”**. Для передачи листа в **MS Word** нажмите кнопку . Для сохранения листа в файл в формате ***.rtf** нажмите кнопку **“Сохранить”**.

При выборе пункта всплывающего меню **“Передать в БД”** будет вызвано окно **“Запись в БД”** для внесения дополнительных данных, не хранящихся в спектре (рис.1.3).

Масса	Ед. изм.	1	kg
Объем	Ед. изм.	1	l
Живое время		1122.394268	
Реальное время		1200	
Дата изм. спектра		25.11.2006 4:14:19	
Дата прив. активностей		24.11.2006 11:55:39	
Тракт		Gamma	
Комментарий			
Ед. изм. данных		Активность, Бк	
Геометрия		Мариетта	
Тип пробы		почва	
Имя пробы		N17/34	
N протокола		24.08	
Заказчик		Иванов И.И.	
Файл базы данных		D:\prob_asw.mdb	
<input type="button" value="Добавить"/> <input type="button" value="Закрыть"/>			

Рис.1.3

Окно поделено на две таблицы полей. Верхнее, нередатируемое, содержит уже известные данные о спектре, а нижнее, редактируемое, содержит поля для ввода недостающей информации. После заполнения нужно удостовериться прописано ли название файла базы данных в поле **“Файл базы данных”** и нажать кнопку **“Добавить”**. При успешной передаче будет выдано соответствующее сообщение.



Определение удельных активностей радионуклидов методом анализа отдельных пиков.

Метод может быть использован при появлении в спектре пиков радионуклидов, не входящих в заданную матрицу (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs). Последовательность расчета удельной активности радионуклидов дана на примере реальных спектров (рис. 2.1 и 2.5).

Пример № 1. Спектр счетного образца ms_co_ps (рис. 2.1).

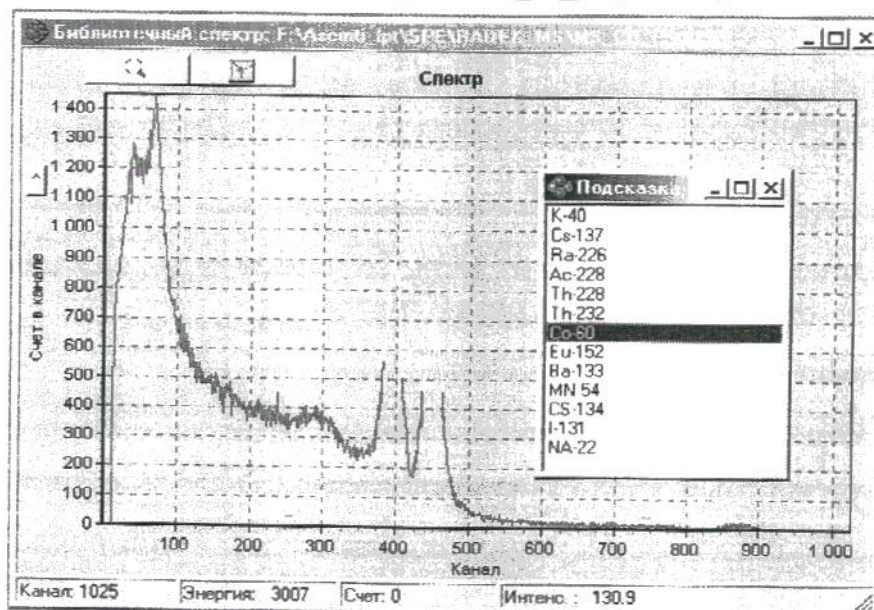
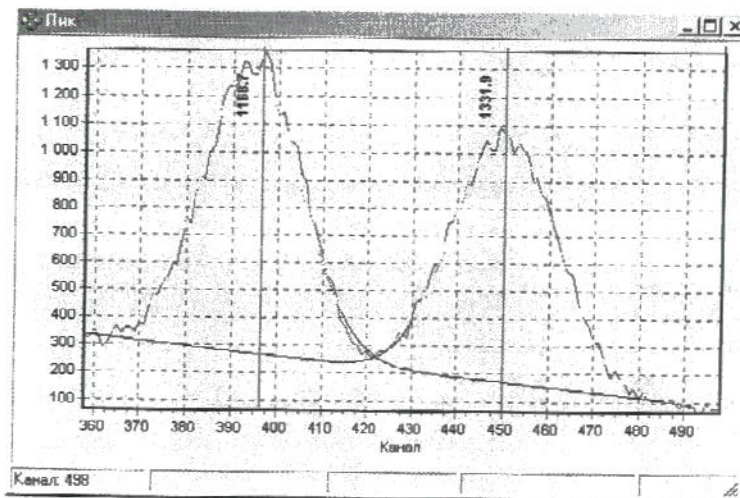


Рис. 2.1. Спектр счетного образца ms_co_ps.

- 1.1. Открыть рабочий спектр (операция «Открыть спектр» из меню «Файл»).
- 1.2. Идентифицируют радионуклид визуально по энергиям имеющихся в спектре пиков или по команде «Подсказать нуклид».
- 1.3. На спектре с помощью кнопки «Пик» и манипуляций по выделению зоны интереса создают окно «Пик».
- 1.4. Если пик имеет сложную форму, используют процедуру разложения сложного пика, установив маркеры в поле окна «Пик» щелчком левой клавиши мыши.

1.5. Щелкнув правой кнопкой мыши по окну «Пик» выбирают во всплывающем меню пункт «Активность». Программа выполняет процедуру «Гауссиан» или «Мультиплет». Появляется окно «Открыть» для выбора файла эффективности (*.eff).

6. Выбирают и открывают нужный файл эффективности. На появившемся поле «Библиотека нуклидов» приводятся результаты предварительной идентификации пиков.





Библиотека нуклидов

Выбранные пики для расчета:
Co-60 1173,2
Co-60 1332,5

Найти активности

Найденные пики:

Пик 1	Пик 2	Пик 3
Co-60 1173,2	Co-60 1332,5	

Активности:

872,39 ± 109,6 (12,6%)	888,10 ± 111,9 (12,6%)	
------------------------	------------------------	--

Добавить... Добавить... Добавить...

Библиотека нуклидов:

K-40	1173,2
Cs-137	1332,5
Ra-226	
Ac-228	
Th-228	
Th-232	
Co-60	
Eu-152	
Ba-133	
MN-54	
CS-134	
I-131	
NA-22	

На осреднение...

Co-60	1173,2	872,39 ± 109,6 (12,6%)
Co-60	1332,5	888,10 ± 111,9 (12,6%)

Удалить Очистить Результат...

Рис. 2.3.

В левом нижнем углу поля дан перечень нуклидов из библиотеки **librp.dat** (см. прил. 4 описания программы **ASW**). В окнах «Найденные пики» идентифицируются все линии гамма-излучения радионуклидов, укладываемые в интервал «Предел обнаружения пика».

Для одиночного пика заполняется окно «Пик 1», для дуплета – окна «Пик 1» и «Пик 2», для триплета – все три окна. В окнах указываются радионуклиды и их идентифицированные линии. Выбранные и выделенные щелчком левой клавиши мыши пики из окон «Найденные пики» отображаются в поле «Выбранные пики для расчета».

После нажатия кнопки «Найти активность» в окнах «Активности» появляются результаты вычисления активностей радионуклидов и погрешностей их определения.

Итоги обработки по нескольким пикам усредняют. Для этого кнопками «Добавить» у соответствующих окон информацию передают в поле «На осреднение». Нажатие кнопки «Результат» выводит итоговую таблицу, которая может быть сохранена в формате ***.dat** (н. 14.) или передана в MS Word.

Нуклид	Активность, Бк	Уд. активность...	Абс. погр., Бк	Отн. погр., % [P=0.95]
Co-60	1054.90	1054.90	95.17	9.02

Рабочий спектр: F:\GD\TEST_BALT\delektor1\co\co_2.asw
Файл с эффективностей: C:\RAD1\MS_SM.EFF

Рис. 2.4.



Пример № 2. Спектр счетного образца препарата углекислого стронция (рис.2.5).

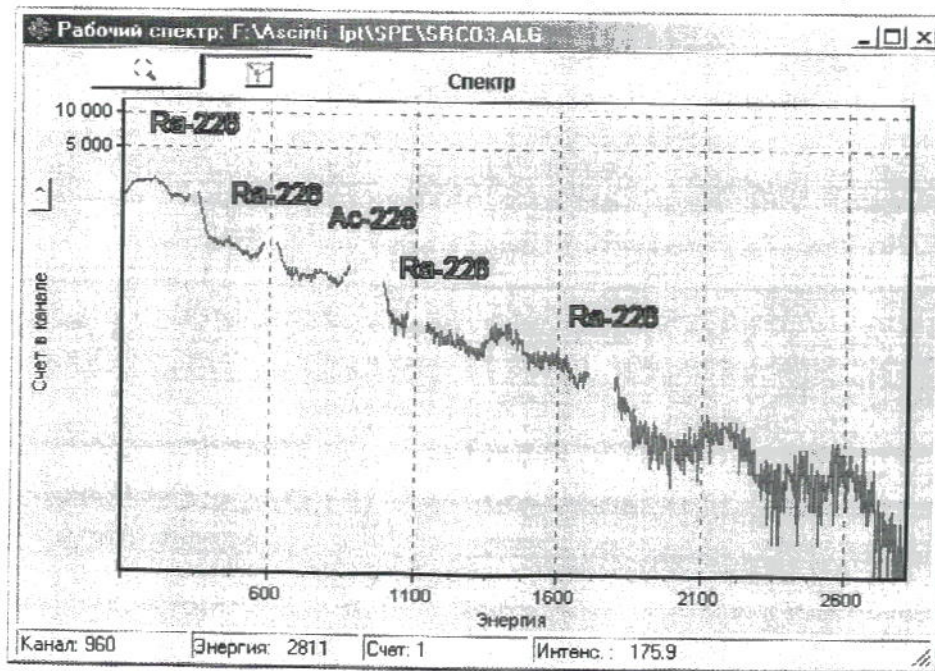


Рис. 2.5. Спектр счетного образца углекислого стронция

- 2.1. Открыть рабочий спектр (операция «Открыть спектр» из меню «Файл»).
- 2.2. По команде «Подсказать нуклид» в спектре идентифицируются ^{226}Ra и ^{228}Ac (соответствующие пики на рис. 2.5 подсвечены белым цветом).
- 2.3. На спектре создают окна «Пик» поочередно для каждого из выделенных пиков. Для линий сложной формы используют процедуру разложения пика. Для примера ниже даны пики, соответствующие линиям 609.3 кэВ а (рис. 2.5 а), а также линиям 911.2 и 968.0 кэВ ^{228}Ac (рис. 2.5 б)

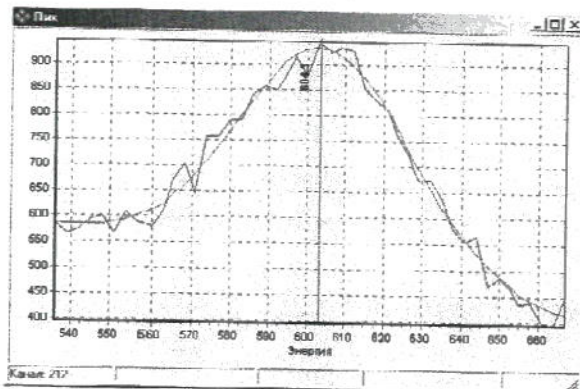


Рис. 2.5 а

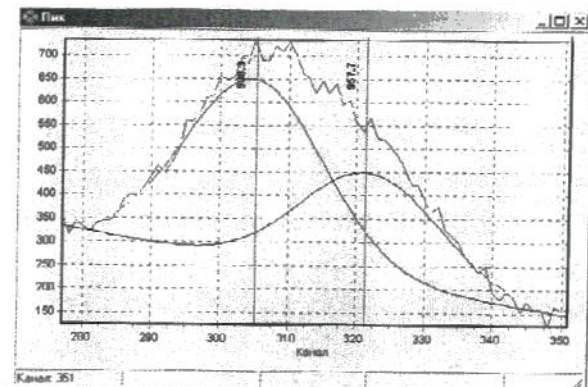


Рис. 2.5 б

- 2.4. Поочередно для каждого из выделенных пиков применяют процедуру «Активность». Далее действуют в соответствии с п. 1.5 приложения 2.
- 2.5. Результаты идентификации пиков и вычисления активностей радионуклидов даны на рис 2.6.



Библиотека нуклидов

Выбранные пики для расчета:
Ac-228 911,2
Ac-228 968,0

Найти активности

Найденные пики:

Пик 1	Пик 2	Пик 3
Ac-228 911,2 Th-232 911,2	Ac-228 968,0 Th-232 968,0 Eu-152 964,1	

Активности:

740,30 ± 95,5 (12,9%)	589,08 ± 81,0 (13,7%)	
-----------------------	-----------------------	--

Добавить... Добавить... Добавить...

Библиотека нуклидов:

K-40	338,3
Cs-137	911,2
Ra-226	968,0
Ac-228	
Th-228	
Th-232	
Co-60	
Eu-152	
Ba-133	
MN-54	
CS-134	
I-131	
NA-22	

На осреднение...

Ra-226	351,9	314,23 ± 40,3 (12,8%)
Ra-226	609,3	233,23 ± 30,4 (13,0%)
Ra-226	1120,3	290,19 ± 46,8 (16,1%)
Ra-226	1760,0	273,43 ± 40,9 (14,9%)
Ac-228	911,2	740,30 ± 95,5 (12,9%)
Ac-228	968,0	589,08 ± 81,0 (13,7%)

Удалить Результат...
Очистить

Рис. 2.6

2.6. Данные обработки по нескольким пикам каждого из радионуклидов усредняют. Итоговый результат выводится в виде таблицы (рис.2.7).

Результат				
Нуклид	Бк	Бк/кг	Абс.погр.,Бк	Отн.погр.,%(P=0.95)
Ra-226	273,14	426,79	19,72	7,22
Ac-228	673,03	1051,60	64,09	9,52

Рабочий спектр: F:\Ascinti_lpt\SPE\SRCD3.ALG
Файл эффективностей: F:\Ascinti_lpt\SPE\MS_SM.EFF

Рис. 2.7.



Техническое описание γ -спектрометра МКГБ-01

1 Основные технические данные.

1.1. Спектрометр-радиометр (далее СПР) обеспечивает измерение энергетического распределения гамма-излучения в диапазоне энергий от 50 до 2700 кэВ, бета-излучения – в диапазоне энергий от 200 до 2500 кэВ*.

1.2. Энергетическое разрешение СПР со сцинтилляционными блоками детектирования гамма-излучения БДЕГ-63 и БДЕГ-80 по линии гамма-излучения радионуклида ^{137}Cs с энергией 661,66 кэВ не превышает соответственно 9,5 и 10 %.

1.3. Энергетическое разрешение СПР со сцинтилляционным блоком детектирования гамма-излучения БДЕГ-150 по линии гамма-излучения радионуклида ^{137}Cs с энергией 661,66 кэВ не превышает 12 %.

1.4. Энергетическое разрешение СПР с блоком детектирования бета-излучения БДЕБ-60 по линии конверсионных электронов радионуклида ^{137}Cs с энергией 624 кэВ не превышает 15 %.

1.5. Предел допускаемой основной погрешности характеристики преобразования СПР с блоками детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80 и БДЕГ-150 (интегральной нелинейности) в рабочем диапазоне энергий гамма-излучения не превышает +1,0 %.

1.6. Предел допускаемой основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности) с блоком детектирования БДЕБ-60 составляет ± 2 %.

1.7. Эффективность регистрации СПР с блоком детектирования БДЕГ-63 в пике полного поглощения гамма-излучения радионуклида ^{137}Cs с энергией 661,66 кэВ на расстоянии 50 мм от верхней поверхности детектора не менее 1,0 %.

1.8. Эффективность регистрации СПР с блоком детектирования БДЕГ-80 в пике полного поглощения гамма-излучения радионуклида ^{137}Cs с энергией 661,66 кэВ на расстоянии 50 мм от верхней поверхности детектора не менее 2,0 %.

1.9. Эффективность регистрации СПР с блоком детектирования БДЕГ-150 в пике полного поглощения гамма-излучения радионуклида ^{137}Cs с энергией 661,66 кэВ на расстоянии 100 мм от верхней поверхности детектора не менее 2,5 %.

1.10. Чувствительность регистрации бета-частиц в интервале спектра от 550 до 2300 кэВ от источника бета-излучения $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ типа ICO, расположенного на дне стандартной кюветы не менее 0,1 имп/Бк.

1.11. Максимальная входная статистическая загрузка СПР не менее $5 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1}$.

1.12. Диапазон измерения активности ^{137}Cs с блоками детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150 и БДЕГ-К составляет $5 - 4 \cdot 10^4$ Бк. Предел допускаемой основной погрешности измерений активностей составляет $\pm 30\%$ (БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150) и $\pm 20\%$ (БДЕГ-К).

1.13. Диапазон измерения активности $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ с блоком детектирования БДЕБ-60 составляет 1-1000 Бк. Предел допускаемой основной погрешности измерений активностей $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ составляет + 30 %.

1.14. Время установления рабочего режима СПР не более 30 мин.

1.15. Время непрерывной работы СПР за вычетом времени установления рабочего режима не менее 24 ч.

1.16. Нестабильность показаний СПР с блоками детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150 и БДЕГ-60 за 24 часа непрерывной работы не более 1,0 % (изменение коэффициента преобразований) и не более 2,0 % при измерении активности.

1.17. Масса составных частей СПР не превышает значений, указанных в табл. 1.

* По согласованию с Заказчиком диапазон энергий может быть расширен.



Таблица 1

№ п./п.	Наименование составной части СПР	Диаметр, мм	Высота, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Масса, кг
1	Блок детектирования БДЕГ-63	95	280	-	-	2,6
2	Блок детектирования БДЕГ-80	105	285	-	-	3,4
3	Блок детектирования БДЕГ-150	185	400	-	-	9,9
4	Блок детектирования БДЕБ-60	90	170	-	-	3,3
5	Аналого-цифровой преобразователь MD-129	-	11	100	200	0,8
6	Аналого-цифровой преобразователь MD-198	-	11	100	200	0,8
7	Низкофоновая камера пассивной защиты блоков БДЕГ-63, -80, -150	260	600	-	-	205
8	Низкофоновая камера пассивной защиты блока БДЕБ-60	270	380	-	-	187
10	Спектрометр-радиометр МКГБ-01 в сборе с блоком БДЕГ-63 БДЕГ-80 БДЕГ-150	-	-	-	-	873,7 874,5 881,0

1.18. Питание СПР производится от сети переменного тока с напряжением 220В (предельно допустимое отклонение +10 %- минус 15 %) и частотой 50 ± 1 Гц. Мощность, потребляемая СПР, не более 300 Вт.

1.1. Спектрометр-радиометр (далее СПР) обеспечивает измерение энергетического распределения гамма-излучения в диапазоне энергий от 100 до 3000 кэВ, бета-излучения – в диапазоне энергий от 200 до 2500 кэВ.

1.2. Энергетическое разрешение СПР:

– со сцинтилляционным блоком детектирования гамма-излучения БДЕГ-63с и БДЕГ-80 по линии гамма-излучения радионуклида ^{137}Cs с энергией 661,66 кэВ не превышает 10 %;

– со сцинтилляционным блоком детектирования гамма-излучения БДЕБ-60 по линии конверсионных электронов радионуклида ^{137}Cs с энергией 624 кэВ не превышает 15 %.

1.3. Предел допускаемой основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности) составляет ± 2 %.

1.4. Максимальная входная статистическая нагрузка СПР – 10^4 с^{-1} .

1.5. Время установления рабочего режима СПР не более 30 мин.

1.6. Время непрерывной работы СПР не менее 24 ч.



2. Состав спектрометра-радиометра

Таблица 1

Наименование	Количество*
Блок детектирования сцинтилляционный БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150)	1
Блок детектирования сцинтилляционный БДЕБ-60	1
Аналого-цифровой преобразователь "MD-198" с низковольтным источником питания (высоковольтный источник питания встроены в блок детектирования).	1
или аналого-цифровой преобразователь "MD-129" в корпусе «euroPRO» с дополнительными блоками:	1
низковольтного сетевого источника питания LV и	1
высоковольтного источника питания HV	1
Низкофоновая камера пассивной защиты для БДЕГ-63с (БДЕГ-80)	1
Низкофоновая камера пассивной защиты для БДЕБ-60	1
Персональный компьютер IBM-PC	1
Расходные материалы: Сосуды Маринелли объемом 1 л	10
Цилиндрические сосуды объемом 250 мл	10
Цилиндрические сосуды объемом 38 мл	10
Контрольные источники на основе радионуклидов ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{90}Sr	(2-4)**
Объемные контрольные образцы (по заказу)	1-2
Документы по эксплуатации МКГБ-01	1

3. Описание работы спектрометра-радиометра

3.1. Основу комплекса составляет персональный компьютер IBM PC, соединенный через параллельный порт с многоканальным аналого-цифровым преобразователем "MD-129" или через порт USB с АЦП "MD-198".

Блок-схема одного из каналов спектрометра-радиометра с АЦП "MD-129" приведена на рис 1.

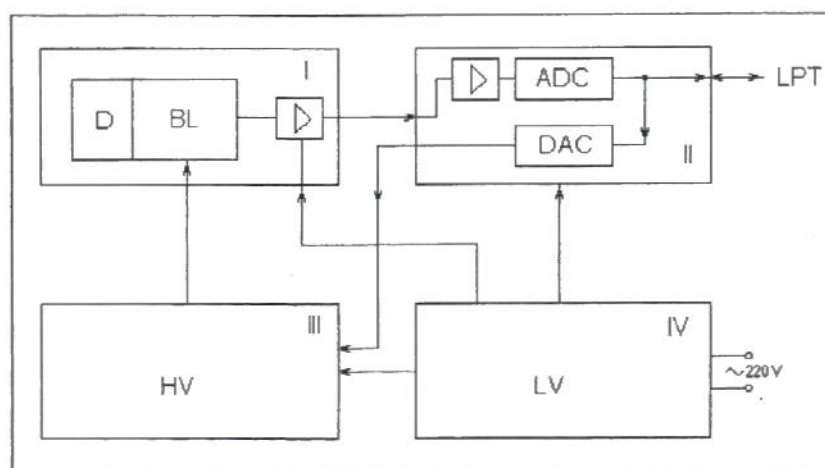


Рис. 1. Блок-схема спектрометра-радиометра с АЦП "MD-129".

* состав СПР, номенклатура расходных материалов и источников определяется контрактом с Заказчиком.
** активность радионуклида в контрольных источниках и контрольных образцах не превышает 1.5 – 2 кБк.



Для измерения спектров служит сцинтилляционный блок детектирования (I) γ -излучения БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЭГ-150) на основе монокристалла NaI(Tl) D размерами 63x63 мм (80x80 мм, 150x100 мм), сочлененного с фотоумножителем BL. Детектирование β -излучения осуществляется блоком БДЕБ-60 на основе полистирола.

Блоки детектирования помещены в малофоновые свинцовые камеры для снижения фона на месте измерения.

Блок детектирования имеет встроенный усилитель. Напряжения, необходимые для работы детектора, подаются с низковольтного сетевого источника питания LV (IV) и высоковольтного блока HV (III). Примененные разъемы блоков детектирования, питания и АЦП исключают их неправильное соединение.

АЦП и блоки питания LV и HV помещены в каркас «europacPRO».

Анализатор импульсов MD-129 (II) состоит из согласующего усилителя, АЦП и ЦАП. АЦП предназначен для измерения амплитуд импульсных сигналов от детектора излучения, регистрации полученного цифрового кода в буферной памяти и передачи информации через параллельный порт в компьютер. Через этот порт анализатор управляется программой «ASW»

Цифро-аналоговый преобразователь (DAC) работает как цифровой потенциометр, управляющий регулировкой усиления спектрометра.

Технические данные анализатора импульсов MD-129:

диапазон амплитуд измеряемых входных сигналов.....	0-5В;
количество каналов.....	1024/8192 (устанавливается программно);
полное время обработки одного измерения.....	не более 4 мкс;
полное время передачи спектра (1024 канала).....	около 2мс;
полное время передачи спектра (4096 канала).....	около 8мс;
емкость канала.....	65536 отсчетов.

Общий вид каркаса спектрометра МКГБ-01 с АЦП MD-129” дан на рис. 2.

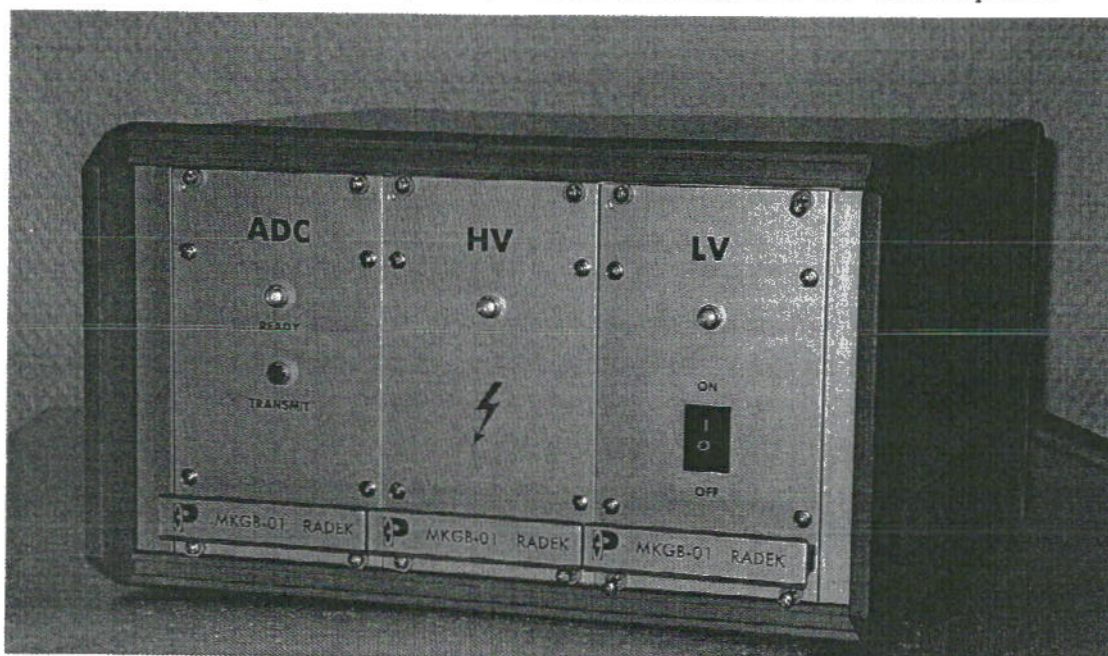


Рис. 2. Общий вид каркаса радиометра-спектрометра МКГБ-01 с АЦП MD-129”.

На лицевой панели АЦП имеется два светодиода – зеленого цвета (READY) и красного цвета (TRANSMIT). Светодиод READY мигает с частотой поступления сигнала.



лов на АЦП; светодиод TRANSMIT – с частотой опроса, указанной на панели “Общие параметры АЦП.

С тыльной стороны блока АЦП установлены разъемы входного сигнала первого и второго каналов и 25-контактный разъем DB-25-S для подключения с помощью стандартного интерфейсного кабеля к LPT-порту компьютера.

Высоковольтные разъемы питания блоков детектирования размещены на тыльной стороне блока HV. На лицевой поверхности блока помещен индикатор включения.

С тыльной стороны блока LV установлены низковольтные разъемы питания блоков детектирования, разъем для подключения кабеля сетевого питания (220 В) и предохранитель. На лицевой панели блока расположен сетевой выключатель и светодиодный индикатор включения.

Анализатор импульсов MD-198 состоит из согласующего усилителя, АЦП и ЦАП. АЦП предназначен для измерения амплитуд импульсных сигналов от детектора излучения, регистрации полученного цифрового кода в буферной памяти и передачи информации через порт USB в компьютер. Через этот порт анализатор управляется программой “ASW”

Цифро-аналоговый преобразователь (DAC) работает как цифровой потенциометр, управляющий регулировкой усиления спектрометра.

Технические данные анализатора импульсов MD-198:

диапазон амплитуд измеряемых входных сигналов.....0-5В;
количество каналов.....1024/2048/4096/8192 (устанавливается программно);
полное время обработки одного измерения.....не более 5.5 мкс;
полное время передачи спектра (1024 канала).....около 4мс;
полное время передачи спектра (4096 канала).....около 16мс;
емкость канала..... 2^{32} отсчетов.

Общий вид корпуса спектрометра МКГБ-01 с АЦП MD-198” дан на рис. 3.

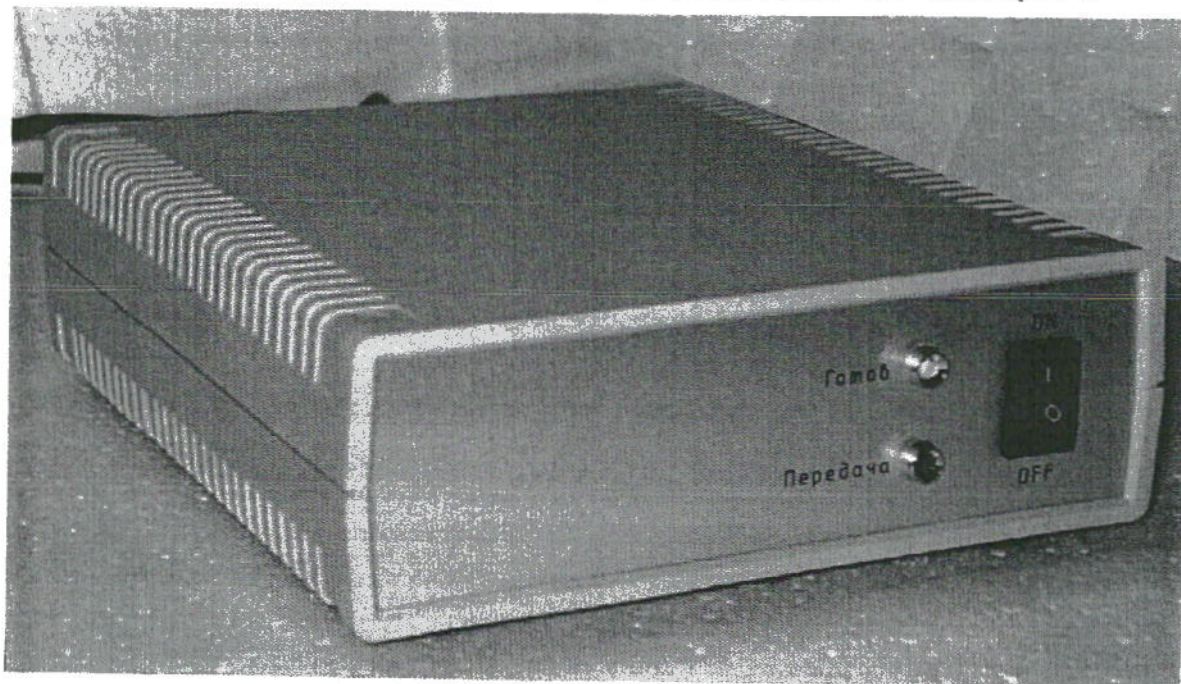


Рис. 3. Общий вид корпуса радиометра-спектрометра МКГБ-01 с АЦП MD-198”.



На лицевой панели АЦП “MD-198” имеется два светодиода – зеленого цвета (Готов) и красного цвета (Передача). Светодиод “Готов” мигает с частотой поступления сигналов на АЦП; светодиод “Передача” – с частотой опроса, задаваемой из программы управления (“ASW”).

С тыльной стороны блока АЦП “MD-198” установлены разъемы входного сигнала первого и второго каналов и USB разъем (тип В) для подключения к компьютеру. Версия USB порта в компьютере должна быть 2.0. Также с тыльной стороны находятся разъемы питания детектора и разъем подключения питания самого анализатора.



Методика поверки

(извлечение из раздела 13 документа «Руководство по эксплуатации ШФРК.412151.010.РЭ»)

Настоящая методика поверки распространяется на спектрометры-радиометры гамма и бета-излучений МКГБ-01 «РАДЭЖ» и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

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

Межповерочный интервал – 2 года.

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

13.1 Операции поверки

При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 5.

Таблица 5

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение операции при поверке	
		Первичной	Периодической
Внешний осмотр	13.7.1	да	да
Опробование	13.7.2	да	да
Определение метрологических характеристик:	13.7.3		
- энергетического разрешения	13.7.3.1	да	да
- основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)	13.7.3.2	да	нет
- эффективности регистрации в геометрии точечного источника	13.7.3.3	да	да
- времени установления рабочего режима СПР	13.7.3.4	да	нет
- времени непрерывной работы и нестабильности прибора за 24 часа непрерывной работы.	13.7.3.4	да	нет
- максимально допустимой статистической загрузки	13.7.3.5	да	нет

13.2. Средства поверки

При проведении поверки должны применяться средства измерений, приведенные в таблице 6.

Таблица 6.

Наименование операции	Номер пункта методики	Наименование эталонного средства измерений, основные метрологические характеристики
1. Опробование	13.7.2	Источник радионуклида ^{137}Cs из комплекта источников фотошного излучения радионуклидных закрытых спектрометрических эталонных типа ОСГИ-3 ТУ 7018-001-13805076-04 (далее источники типа ОСГИ-3). Активность до 3 кБк, погрешность аттестации $\pm 2\%$.



2. Определение энергетического разрешения СПР с блоками детектирования: БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150) БДЕБ-60	13.7.3.1	Источники из комплекта ОСГИ-3 ТУ 7018-001-13805076-04. ^{137}Cs , энергия гамма-квантов 661,66 кэВ, активность до 3 кБк, погрешность аттестации $\pm 3\%$. ^{137}Cs , энергия конверсионных электронов 624 кэВ, активность до 3 кБк, погрешность аттестации $\pm 3\%$.
3. Определение основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности) СПР с блоками детектирования: БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150) БДЕБ-60	13.7.3.2	Диапазон энергий гамма-квантов 59,5-2734,0 кэВ. Комплект источников ОСГИ-3 ТУ 7018-001-13805076-04 ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{88}Y , ^{228}Th , ^{241}Am активностью 10-100 кБк, погрешность аттестации $\pm 3\%$. Диапазон энергий бета-излучения 156,5-2284 кэВ. Источники из набора ОСГИ-3 – ТУ 7018-001-13805076-04 ^{137}Cs , активностью до 10 кБк, погрешность аттестации $\pm 3\%$. Источники бета-излучения из набора ОРИБИ ^{14}C , ^{147}Pm , ^{90}Sr - ^{90}Y , ^{204}Tl , ^{207}Bi , активностью 2-100 кБк, погрешность аттестации $\pm 4\%$.
Определение эффективности регистрации в геометрии точечного источника: БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150) - в пике полного поглощения	13.7.3.3	Источник ^{137}Cs из набора ОСГИ-3 ТУ 7018-001-13805076-04, погрешность аттестации $\pm 3\%$.
Определение чувствительности регистрации бета-частиц в интервале спектра от 550 до 2300 кэВ (БДЕБ-60)	13.7.3.3	Источник бета-излучения $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ типа 1С0 погрешность аттестации $\pm 5\%$.
Определение времени установления рабочего режима СПР, времени непрерывной работы и нестабильности прибора за 24 часа непрерывной работы.	13.7.3.4	Источник ^{137}Cs из набора ОСГИ-3 ТУ 7018-001-13805076-04, активностью от 10^4 до 10^5 Бк, погрешность аттестации $\pm 3\%$.
Определение макси-	13.7.3.5	Источники ^{60}Co , ^{137}Cs из набора ОСГИ-3 ТУ



мально допустимой статистической загрузки.		7018-001-13805076-04, активностью от 10^4 до 10^5 Бк, погрешность аттестации $\pm 3\%$.
		Термометр. ГОСТ 112-78, цена деления $0,1\text{ }^\circ\text{C}$, диапазон температур от минус 50 до $60\text{ }^\circ\text{C}$.
		Барометр. ГОСТ 23696-79, основная погрешность $\pm 0,5$, диапазон давлений от 66 до 107 кПа .
		Психрометр. ТУ 182.844-54, основная погрешность $\pm 2\%$, диапазон относительной влажности от 10 до 100% .
		Дозиметр ДКС-АТ-1123. ТУРБ 37318323.00 5-96, предел допускаемой основной погрешности $\pm 20\%$, диапазон МЭкД от $0,05\text{ мкЗв/ч}$ до 10 Зв/ч .

13.3. 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.

13.4. Требования безопасности при проведении поверки

При проведении поверки должны соблюдаться требования безопасности, изложенные в разделе 6 настоящего Руководства по эксплуатации.

13.5. Условия поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:
температура окружающего воздуха $20 \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$;
относительная влажность воздуха $60 \pm 20\%$;
атмосферное давление $101,3 \pm 4\text{ кПа}$;
фон внешнего излучения не более $0,15\text{ мкЗв/ч}$.

13.6. Подготовка к поверке

Перед проведением поверки необходимо ознакомиться с разделами 7, 8, 11 и Приложениями 1 и 2 настоящего Руководства по эксплуатации.

13.7. Проведение поверки

13.7.1. Внешний осмотр

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

- соответствия комплектности поверяемого СПР 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 СПР.

13.7.2. Опробование

При проведении опробования необходимо проверить работоспособность прибора в соответствии с разделом 7 Руководства по эксплуатации.



13.7.3. Определение метрологических характеристик

13.7.3.1. Определение энергетического разрешения

13.7.3.1.1. Определение энергетического разрешения СПР проводить:

- с блоками детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150 – по линии 661,66 кэВ гамма-излучения ^{137}Cs ;
- с блоком детектирования БДЕБ-60 – по линии конверсионных электронов ^{137}Cs .

13.7.3.1.2. Установить устройство позиционирования с источником гамма-излучения ^{137}Cs на детектор блока БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150). Активность источника и его положение выбираются такими, чтобы статистическая загрузка СПР была в пределах от 1000 до 10000 имп·с⁻¹.

13.7.3.1.3. 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 .

13.7.3.1.4. Произвести обработку полученного спектра, определив ширину пика полного поглощения линии 661,66 кэВ на половине его высоты Δ_n в каналах.

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

$$\eta_{\text{абс}} = \Delta_n \cdot K, \quad (4)$$

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

$$K = \frac{E_2 - E_1}{n_2 - n_1}, \quad (5)$$

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

13.7.3.1.6. Относительное энергетическое разрешение рассчитывают по формуле:

$$\eta_{\text{отн}} = (\eta_{\text{абс}}/E) \cdot 100, \% \quad (6)$$

где E – значение энергии пика полного поглощения, кэВ.

13.7.3.1.7. Результат поверки СПР 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 %, с блоком БДЕГ-150 – 12%.

13.7.3.1.13. Установить устройство позиционирования с источником бета-излучения ^{137}Cs под детектором блока детектирования БДЕБ-60. Активность источника выбирается такой, чтобы статистическая загрузка СПР была в пределах от 1000 до 10000 имп·с⁻¹.

13.7.3.1.14. Провести измерение спектра источника. Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в пике конверсионных электронов было не менее 10^4 .

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

13.7.3.1.16 Рассчитать относительное энергетическое разрешение в соответствии с п. 13.7.3.1.5-13.7.3.1.6.

13.7.3.1.17. Результат поверки СПР с блоком детектирования БДЕБ-60 считают положительным, если относительное энергетическое разрешение по линии конверсионных электронов 624 кэВ радионуклида ^{137}Cs не превышает 15 %.

13.7.3.2. Определение основной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)

13.7.3.2.1. Определение основной погрешности характеристики преобразования



(интегральной нелинейности) СПР проводить с использованием радионуклидных источников фотонного излучения из набора ОСГИ-3 (для блоков детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150) и бета-излучения из набора ОРИБИ (БДЕБ-60). Энергии гамма и бета-излучения радионуклидов должны соответствовать началу, середине и концу диапазона энергий регистрируемых излучений. Активность радионуклидных источников и время измерения выбираются такими, чтобы статистическая загрузка СПР была в пределах от 1000 до 10000 имп·с⁻¹, а число импульсов в каждом пике не менее 10⁴. Блоки детектирования размещаются вертикально в низкофоновых камерах пассивной защиты из свинца толщиной 75 мм (БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150), 65 мм (БДЕБ-60). Источники излучения помещаются в устройство позиционирования, устанавливаемое на центр торцевой поверхности детектора.

13.7.3.2.2. Установить устройство позиционирования с источником гамма-излучения ¹³⁷Cs на детектор блока БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150). Активность источника и его положение выбираются такими, чтобы статистическая загрузка СПР была в пределах от 1000 до 10000 имп·с⁻¹.

13.7.3.2.3. 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.

13.7.3.2.4. По окончании набора сохранить спектр для последующей обработки.

13.7.3.2.5. Убрать источник с устройства позиционирования.

13.7.3.2.6. Повторить действия по п.п.13.7.3.2.2-13.7.3.2.5, устанавливая последовательно на устройство позиционирования источники ¹⁵²Eu, ⁸⁸Y, ²²⁸Th, ²⁴¹Am. Время экспозиции выбирать таким, чтобы площадь каждого из пиков полного поглощения, соответствующих энергиям гамма-квантов 59.6(²⁴¹Am), 121.8(¹⁵²Eu), 238.6(²²⁸Th), 344.2(¹⁵²Eu), 583.2(²²⁸Th), 898.0(⁸⁸Y), 1408.0(¹⁵²Eu), 1836.0(⁸⁸Y) и 2614(²²⁸Th) кэВ составляла не менее 10000 импульсов.

13.7.3.2.7. Произвести обработку полученных спектров. Определить положение центроид пиков 59.6(²⁴¹Am), 121.8(¹⁵²Eu), 238.6(²²⁸Th), 344.2(¹⁵²Eu), 583.2(²²⁸Th), 661.66(¹³⁷Cs), 898.0(⁸⁸Y), 1408.0(¹⁵²Eu), 1836.0(⁸⁸Y) и 2614(²²⁸Th) кэВ.

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

$$E_{i \text{ расч}} = a + b \cdot N_i, \text{ кэВ} \quad (7)$$

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 (7) значения энергий, соответствующих полученным центроидам пиков.

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

$$\Delta E_i = E_i - E_{i \text{ расч}}, \text{ кэВ} \quad (8)$$

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:

$$\delta = (\Delta E_i^{\text{max}} / E_{i \text{ max}}) \cdot 100, \% \quad (9)$$

13.7.3.2.9. Результат поверки СПР с блоком БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150) считают положительным, если значения $E_{\text{расч}}$, соответствующие минимальному и максимальному каналам спектра, составляют соответственно не более 40 кэВ и не менее 3100 кэВ.



13.7.3.2.10. Результат поверки СПР с блоком БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150) считают положительным, если полученное значение δ не превышает $\pm 1\%$.

13.7.3.2.17. Установить устройство позиционирования с источником ^{137}Cs под детектором блока БДЕБ-60. Активность источника выбирается такой, чтобы статистическая загрузка СПР была в пределах от 1000 до 10000 имп·с⁻¹.

13.7.3.2.18. Провести измерение спектра источника. Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в пике конверсионных электронов было не менее 10^4 . По окончании набора сохранить спектр для последующей обработки.

13.7.3.2.19. Повторить действия по пп. 13.7.3.2.17-13.7.3.2.18 с источником ^{207}Bi .

13.7.3.2.20. Произвести действия в соответствии с пп. 13.7.3.2.17-13.7.3.2.18, устанавливая последовательно в устройство позиционирования радионуклидные источники бета-излучения ^{14}C , ^{147}Pm , ^{90}Sr - ^{90}Y , ^{204}Tl . Время экспозиции выбирается таким, чтобы число импульсов в спектре было не менее 10^4 , но не менее 300 с.

13.7.3.2.21. Произвести обработку полученных спектров. Определить положение центроид пиков конверсионных электронов ^{137}Cs и ^{207}Bi . По спектрам бета-излучения радионуклидов ^{14}C , ^{147}Pm , ^{90}Sr - ^{90}Y , ^{204}Tl , не имеющих линий конверсионных электронов, определить значения каналов, соответствующих максимальным граничным энергиям бета излучения.

13.7.3.2.22. Произвести действия в соответствии с п. 13.7.3.2.8, используя положения центроид пиков конверсионных электронов и положения значений граничных энергий бета-излучения.

13.7.3.2.23. Результат поверки СПР с блоком БДЕБ-60 считают положительным, если значения $E_{\text{расч}}$, соответствующие минимальному и максимальному каналам спектра, составляют соответственно не более 140 кэВ и не менее 2600 кэВ.

13.7.3.2.24. Результат поверки СПР с блоком БДЕБ-60 считают положительным, если полученное значение δ не превышает $\pm 2\%$.

13.7.3.3 Определение эффективности (чувствительности) регистрации в геометрии точечного источника

13.7.3.3.1. Проверку эффективности регистрации СПР проводить по пику полного поглощения радионуклида ^{137}Cs на расстоянии между источником излучения и центром торцевой поверхности детектора:

- с блоками детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80 – 50 мм,
- с блоками детектирования БДЕГ-150 – 100 мм;

Чувствительность регистрации с блоком детектирования БДЕБ-60 в диапазоне энергий 550-2300 кэВ проводить при расположении источника излучения ^{90}Sr - ^{90}Y дне стандартной кюветы.

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

13.7.3.3.3. Установить устройство позиционирования 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 2000 с⁻¹.

13.7.3.3.4. 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.

13.7.3.3.5. 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 среднее квадратическое отклонение $S(\bar{n})$ по формулам:



$$\bar{n} = \frac{\sum n_i}{m}, \quad (10)$$

$$S(\bar{n}) = \frac{\sum (n_i - \bar{n})^2}{(m-1) \cdot m}, \quad (11)$$

где m – число измерений.

13.7.3.3.6. Эффективность регистрации в пике полного поглощения ε рассчитать по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\bar{n}}{A \cdot \eta_\gamma} \cdot 100\%, \quad (12)$$

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 относительное среднее квадратическое отклонение результата измерения эффективности регистрации по формуле:

$$\delta(\varepsilon) = \frac{S(\bar{n})}{\bar{n}} \cdot 100\%, \quad (13)$$

Рассчитать абсолютную погрешность определения эффективности регистрации для 95% доверительного интервала при m наблюдениях по формуле:

$$\Delta = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{(\delta_{A0} + t_m \cdot \delta(\varepsilon))}{\sqrt{\frac{1}{3} \delta_{A0}^2 + \delta(\varepsilon)}} \cdot \sqrt{\delta(\varepsilon)^2 + \frac{1}{3} \delta_{A0}^2}, \quad (14)$$

где δ_{A0} – относительная погрешность аттестации активности источника ОСГИ, %;
 t_m – коэффициент Стьюдента для m наблюдений и $P=0.95$ (для 10 наблюдений $t_{10}=2.3$).

13.7.3.3.7. Произвести действия в соответствии с п.п. 13.7.3.3.3-13.7.3.3.4 с блоком детектирования БДЕБ-60, предварительно разместив источник излучения радионуклида $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ в устройстве позиционирования (дно стандартной кюветы). Время экспозиции установить 2000 с. Рассчитать количество импульсов N в энергетическом интервале 550 – 2300 кэВ.

13.7.3.3.8. Убрать источник с устройства позиционирования, установить время экспозиции не менее 3600 с.

13.7.3.3.9. Произвести с блоком детектирования БДЕБ-60 измерение спектра фона внешнего бета и гамма-излучения и рассчитать количество импульсов от фонового излучения N_ϕ в энергетическом интервале 550 - 2300 кэВ.

13.7.3.3.10. Рассчитать эффективность регистрации бета-излучения в энергетическом интервале 150 – 2500 кэВ по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(N/t - N_\phi / t_\phi)}{A} \cdot 100\%, \quad (15)$$

где t и t_ϕ – “живое” время набора спектра источника и фона, соответственно, с;
 A – выход излучения в угол 2π ср (по св-ву о поверке источника), приве-



денный на момент измерения спектров, s^{-1} .

13.7.3.3.11. Рассчитать абсолютную погрешность определения эффективности регистрации бета-излучения в энергетическом интервале 150 – 2500 кэВ по формуле:

$$\Delta = \varepsilon \cdot 4 \cdot \frac{N/t^2 + N_{\phi}/t_{\phi}^2}{(N/t - N_{\phi}/t_{\phi})^2} + \left(1.1 \cdot \frac{\delta_{A0}}{100}\right)^2, \quad (16)$$

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

13.7.3.3.12. При первичной поверке

- результат поверки СПР с блоками детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80 и БДЕГ-150 считают положительным, если эффективность регистрации в пике полного поглощения 661,66 кэВ радионуклида ^{137}Cs не ниже 2,0 %, 1,0 % и 2,5%, соответственно.
- результат поверки СПР с блоком детектирования БДЕБ-60 считают положительным, если чувствительность регистрации в энергетическом интервале 550 - 2300 кэВ спектра радионуклида ^{90}Sr - ^{90}Y не ниже 0,1 имп/Бк.

Значения эффективностей (чувствительности) регистрации и погрешности их измерения заносят в свидетельство о первичной поверке с описанием геометрии измерения.

13.7.3.3.18. Результат периодической поверки считают положительным, если полученное значение эффективности (чувствительности) удовлетворяет условию:

$$\varepsilon - \varepsilon_0 \leq \sqrt{\Delta^2 + \Delta_0^2}, \quad (17)$$

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

Δ и Δ_0 – погрешности ε и ε_0 ($P=0.95$).

13.7.3.4. Определение времени установления рабочего режима СПР, времени непрерывной работы и нестабильности прибора за 24 часа непрерывной работы.

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

13.7.3.4.2. Перед испытанием СПР должен находиться в выключенном состоянии не менее 2 часов.

13.7.3.4.3. Включить спектрометр, отметив время включения.

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

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

13.7.3.4.6. Произвести измерение спектров гамма-излучения (БДЕГ-63, БДЕГ-80, и БДЕГ-150) и бета-излучения (БДЕБ-60) источника ^{137}Cs из комплекта ОСГИ с временем экспозиции 500 с.

13.7.3.4.7. В полученных спектрах определить положения центроид пиков (n_{ci}) гамма-излучения 661,66 кэВ и конверсионных электронов 624 кэВ.

13.7.3.4.8. В течение 24 часов непрерывной работы производить ежедневно измерения в соответствии с пп. 13.7.3.4.5-13.7.3.4.7.



13.7.3.4.9. Рассчитать среднее положение центроид пиков (\bar{n}_c) гамма-излучения 661,66 кэВ и конверсионных электронов 624 кэВ по формуле:

$$\bar{n}_c = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ci}}{m}, \quad (15)$$

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

13.7.3.4.10. Рассчитать среднее квадратическое отклонение σ_c центроиды пика по формуле:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_{ci} - \bar{n}_c)^2}{m-1}}. \quad (16)$$

13.7.3.4.11. Рассчитать временную нестабильность (изменение коэффициента преобразования) СПР по формуле:

$$D_t = \frac{\sigma_c \cdot K}{E} \cdot 100, \quad (17)$$

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

13.7.3.4.13. Результат проверки СПР с блоком детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80, БДЕГ-150 считают положительным, если изменение коэффициента преобразования не превышает + 1%.

13.7.3.4.15. Результат проверки СПР с блоком детектирования БДЕБ-60 считают положительным, если изменение коэффициента преобразования не превышает $\pm 1\%$.

13.7.3.5. Определение максимально допустимой статистической загрузки.

13.7.3.5.1. Проверку максимальной допустимой входной статистической загрузки производить:

- с блоками детектирования БДЕГ-63, БДЕГ-80 и БДЕГ-150 – по линии 661,66 кэВ гамма-излучения ^{137}Cs ;
- с блоком детектирования БДЕБ-60 – по линии конверсионных электронов ^{137}Cs .

13.7.3.5.2. Произвести определение энергетического разрешения (η) в соответствии с п.4.9 при низкой (10^2 c^{-1}) и максимальной (не ниже $5 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1}$) импульсных нагрузках.

13.7.3.5.3. Рассчитать относительное изменение энергетического разрешения δ_η по формуле

$$\delta_\eta = (\eta_{\max} - \eta_{\min}) \cdot 100 / \eta_{\min}, \%, \quad (18)$$

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

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

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

$$\delta_c = (n_{c \max} - n_{c \min}) \cdot 100 / n_{c \min}, \%, \quad (19)$$

где: $n_{c \max}$ и $n_{c \min}$ – номера каналов, соответствующие положению центроид пиков



при максимальной и низкой нагрузках.

13.7.3.5.6. Результат поверки СПР с блоком детектирования БДЕГ-63 (БДЕГ-80, БДЕГ-150) 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 %.

13.7.3.5.8. Результат поверки СПР с блоком детектирования БДЕБ-60 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 %.

13.7.4. Оформление результатов поверки

13.7.4.1. При положительных результатах первичной поверки в Руководстве по эксплуатации (раздел 15) ставится подпись поверителя, штамп организации, производившей поверку, дата поверки и выдается свидетельство установленной формы о поверке.

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

13.7.4.3. При отрицательных результатах поверки СПР к применению не допускаются. На них выдается извещение установленной формы о непригодности с указанием причин, а свидетельство аннулируется.