

В.Л. Гурачевский, И.С. Леонович, И.Г. Хоровец

**РУКОВОДСТВО ПО РАБОТЕ С ПРИБОРАМИ
РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ**

*Методическое пособие
для специалистов радиационного контроля и
студентов инженерных специальностей*

Минск
2014

УДК 539.1.074(07)

ББК 31.42-5я7

Г95

Рекомендовано научно-методическим советом
Института повышения квалификации и переподготовки кадров АПК БГАТУ.
Протокол № 7 от 27 декабря 2013 г.

Рецензенты:

д-р техн. наук *Л.В. Мисун* (БГАТУ),
канд. физ.-мат. наук *О.В. Мисевич* (НИИ ядерных проблем БГУ).

Гурачевский, В.Л., Леонович, И.С., Хоровец, И.Г.

Г95 **Руководство по работе с приборами радиационного контроля / В.Л. Гурачевский, И.С. Леонович, И.Г. Хоровец. – Минск : Институт радиологии, 2014. – 108 с. : ил.**

Пособие предназначено для изучения дозиметров, радиометров, спектрометров и комбинированных приборов в ходе практических и самостоятельных занятий (тренинг).

Основному материалу предшествует вступительный раздел, в котором содержатся важнейшие сведения о методах радиационного контроля, используемых величинах и единицах их измерения, детекторах ионизирующих излучений, особенностях структуры и устройства приборов.

Описания приборов совмещены с соответствующими выдержками из действующих методик выполнения измерений (МВИ). Рассматриваются как приборы нового поколения (МКС-АТ6130, МКС-АТ1125, МКС-01М «Советник», РКГ-АТ1320, МКС-АТ1315), так и относительно старые, но широко распространенные в практике радиационного контроля приборы (Белрад-04-01, ДБГ-06Т, РКС-107, РКГ-01, РКГ-02С, РКГ-03, РКГ-01А/1, РУГ-91, РУГ-92, РУБ-01П6 и др.).

Сведения по приборам представлены в едином формате. Для многофункциональных приборов нового поколения подробно рассмотрены основные режимы работы, используемые в типовых задачах радиационного контроля (измерение мощности дозы, удельной и объемной активности проб).

УДК 539.1.074(07)

ББК 31.42-5я7

РНИУП «Институт радиологии», 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

I МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

1 ДОЗИМЕТРИЯ.....	7
2 РАДИОМЕТРИЯ.....	11
3 СПЕКТРОМЕТРИЯ.....	13
4 РЕГИСТРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	17
5 КЛАССИФИКАЦИЯ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИБОРОВ.....	20
6 УСТРОЙСТВО ПРИБОРОВ.....	23
7 ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ.....	26

II ДОЗИМЕТРЫ И ДОЗИМЕТРЫ-РАДИОМЕТРЫ

1 ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР БЕЛРАД-04-01.....	31
1.1 Назначение.....	31
1.2 Технические характеристики.....	31
1.3 Устройство и органы управления.....	31
1.4 Включение и проверка работоспособности.....	32
1.5 Порядок работы.....	32
1.5.1 Режим «Измерение мощности дозы».....	32
1.5.2 Режим «Поиск».....	33
1.5.3 Режим «Измерение плотности потока бета-частиц».....	33
1.6 Выключение прибора.....	34
2 ДОЗИМЕТР ДБГ-06Т.....	35
2.1 Назначение.....	35
2.2 Технические характеристики.....	35
2.3 Устройство и органы управления.....	35
2.4 Включение и проверка работоспособности.....	36
2.5 Порядок работы.....	36
2.5.1 Режим «Измерение мощности дозы».....	36
2.5.2 Режим «Поиск».....	37
2.6 Выключение прибора.....	37
3 ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР РКС-107.....	38
3.1 Назначение.....	38
3.2 Технические характеристики.....	38
3.3 Устройство и органы управления.....	39
3.4 Включение и проверка работоспособности.....	39
3.5 Порядок работы.....	39
3.5.1 Режим «Измерение мощности дозы».....	39
3.5.2 Режим «Измерение плотности потока бета-частиц».....	40
3.5.3 Режим «Измерение удельной активности».....	41

3.6	Выключение прибора.....	41
4	ДОЗИМЕТРЫ-РАДИОМЕТРЫ МКС-АТ6130 (МКС-АТ6130А, МКС-АТ6130В, МКС-АТ6130С, МКС-АТ6130Д).....	42
4.1	Назначение	42
4.2	Технические характеристики.....	42
4.3	Устройством и органы управления.....	43
4.4	Включение прибора.....	44
4.5	Меню прибора.....	44
4.6	Порядок работы.....	46
4.6.1	Режим «Измерение мощности дозы».....	46
4.6.2	Режим «Измерение дозы».....	46
4.6.3	Режим «Измерение плотности потока бета-частиц».....	46
4.6.4	Режим «Порог».....	48
4.6.5	Режим «Записная книжка».....	48
4.7	Выключение прибора.....	48
5	ДОЗИМЕТРЫ-РАДИОМЕТРЫ МКС-АТ1125 (МКС-АТ1125А)..	49
5.1	Назначение	49
5.2	Технические характеристики.....	49
5.3	Устройством и органы управления.....	50
5.4	Включение и самоконтроль прибора.....	52
5.5	Режимы и подрежимы работы прибора.....	52
5.6	Порядок работы в режиме дозиметра (F1).....	53
5.6.1	Подрежим «Измерение мощности дозы».....	53
5.6.2	Подрежим «Измерение дозы».....	54
5.6.3	Подрежим «Поиск».....	54
5.6.4	Подрежим «Измерение средней скорости счета».....	55
5.6.5	Пороговые значения.....	55
5.7	Порядок работы в режиме радиометра (F2).....	55
5.7.1	Подрежим «Измерение фона с пустым сосудом».....	56
5.7.2	Подрежим «Измерение фона с сосудом, заполненным водой».....	56
5.7.3	Подрежим «Измерение удельной активности».....	56
5.8	Работа прибора с БДПС-02.....	57
5.8.1	Подрежим «Работа с вычитанием фона».....	57
5.8.2	Подрежим «Измерение плотности потока альфа-и бета-излучения».....	58
5.9	Работа в режиме «Записная книжка».....	58
5.10	Выключение прибора.....	59
6	ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР МКС-01М «Советник».....	60
6.1	Назначение	60
6.2	Технические характеристики.....	60
6.3	Устройством и органы управления.....	60

6.4 Включение прибора.....	61
6.5 Меню прибора.....	62
6.6 Порядок работы.....	63
6.6.1 Режим «Мышечная ткань».....	63
6.6.2 Режим «Скорость счета».....	64
6.6.3 Режим «Измерение мощности дозы».....	65
6.6.4 Режим «Доза - фон».....	66
6.7 Выключение прибора.....	66

III РАДИОМЕТРЫ И СПЕКТРОМЕТРЫ

1 ГАММА-РАДИОМЕТР РУГ-91.....	67
1.1 Назначение.....	67
1.2 Технические характеристики.....	67
1.3 Устройство и органы управления.....	68
1.4 Включение прибора.....	69
1.5 Порядок работы.....	69
1.5.1 Измерение фона.....	69
1.5.2 Измерение объемной активности пробы.....	69
1.5.3 Пересчет объемной активности пробы в удельную.....	70
1.6 Выключение прибора.....	71
2 РАДИОМЕТРЫ РУГ-92 (РУГ-92М, РУГ-92М-01).....	72
2.1 Назначение.....	72
2.2 Технические характеристики.....	72
2.3 Устройство и органы управления.....	73
2.4 Включение и проверка работоспособности.....	74
2.5 Порядок работы.....	74
2.5.1 Измерение фона.....	74
2.5.2 Измерение объемной и удельной активности пробы.....	75
2.6 Выключение прибора.....	76
3 ГАММА-РАДИОМЕТР РУБ-01П6.....	77
3.1 Назначение.....	77
3.2 Технические характеристики.....	77
3.3 Устройство и органы управления.....	78
3.4 Включение и проверка работоспособности.....	79
3.5 Проверка сохранности градуировки прибора (с помощью контрольного источника).....	79
3.6 Порядок работы.....	80
3.6.1 Измерение фона.....	80
3.6.2 Измерение объемной и удельной активности пробы.....	81
3.7 Выключение прибора.....	82
4 РАДИОМЕТРЫ РКГ-01 (РКГ-02, РКГ-02С, РКГ-03)	

«АЛИОТ».....	83
4.1 Назначение	83
4.2 Технические характеристики.....	83
4.3 Устройство и органы управления.....	84
4.4 Включение прибора.....	84
4.5 Порядок работы.....	85
4.5.1 Измерение фона.....	85
4.5.2 Измерение объемной и удельной активности пробы.....	86
4.6 Выключение прибора.....	88
5 ГАММА-РАДИОМЕТРЫ РКГ-01А (РКГ-01А/1, РКГ-02А/1).....	89
5.1 Назначение	89
5.2 Технические характеристики.....	89
5.3 Устройство и органы управления.....	90
5.4 Включение прибора.....	91
5.5 Проверка сохранности градуировки прибора (с помощью контрольного источника).....	91
5.6 Порядок работы.....	92
5.6.1 Измерение фона.....	92
5.6.2 Измерение объемной активности пробы.....	93
5.6.3 Измерение удельной активности пробы.....	93
5.7 Выключение прибора.....	94
6 ГАММА-РАДИОМЕТРЫ РКГ-АТ1320 (РКГ-АТ1320А) «АТОМТЕХ».....	95
6.1 Назначение	95
6.2 Технические характеристики.....	95
6.3 Устройство и органы управления.....	96
6.4 Включение прибора.....	97
6.5 Порядок работы.....	97
6.5.1 Измерение фона.....	97
6.5.2 Измерение объемной и удельной активности пробы.....	99
6.6 Выключение прибора.....	99
7 ГАММА-БЕТА СПЕКТРОМЕТР МКС-АТ1315.....	100
7.1 Назначение.....	100
7.2 Технические характеристики	100
7.3 Устройство и органы управления	101
7.4 Включение и проверка работоспособности	103
7.4.1 Проведение стабилизации.....	104
7.5 Порядок работы	105
7.5.1 Измерение фона.....	105
7.5.2 Измерение активности пробы.....	106
7.6 Выключение прибора.....	108

І МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

В радиационном контроле широко используются методы *дозиметрии, радиометрии и спектрометрии*.

1 ДОЗИМЕТРИЯ

Дозиметрия лежит на стыке физики, биологии и медицины. Ее основная задача – количественное описание *ущерба* (вреда), наносимого человеку воздействием ионизирующих излучений (радиации).

Дозиметрией установлено, что **ущерб**, то есть число лет полноценной жизни, потерянных в результате болезни или преждевременной смерти от облучения зависит, прежде всего, от **поглощенной дозы D** – энергии излучения, поглощенной в единице массы тела. Единицей поглощенной дозы служит **1 грэй (Gr)**. Это доза такого облучения, когда в **1 кг** массы тела поглощается энергия в **1 джоуль (Дж)**:

$$1 \text{ Gr} = 1 \text{ Дж/кг.}$$

Превышение поглощенной дозы порогового значения, составляющего около **1 Gr**, ведет к гибели в организме значительного числа клеток. Такие непосредственные эффекты облучения называют *детерминированными*, они неизбежно влекут острую лучевую болезнь (ОЛБ), причем доза, превышающая **10 Gr**, является смертельной. Некоторые другие детерминированные эффекты, например катаракта, наблюдаются при меньших дозах, начиная с **0,25 Gr**.

При еще меньших значениях поглощенной дозы основную роль играет не гибель, а мутация клеток, что влечет за собой отдаленные эффекты. Мутация обычных, соматических (греч. *soma* – тело) клеток может стать причиной рака, в том числе лейкоза. Мутация половых клеток проявляется в генетических, то есть передающихся по наследству, последствиях. Все такие эффекты называются *стохастическими* (вероятностными), поскольку можно предсказать только вероятность заболевания или смерти.

Для оценки вероятности (риска) стохастических эффектов принято использовать *эквивалентную и эффективную дозы*

облучения, измеряемые в **зивертах (Зв)** или производных единицах ($1 \text{ мЗв} = 10^{-3} \text{ Зв}$, $1 \text{ мкЗв} = 10^{-6} \text{ Зв}$). Установлено, что вероятность стохастических эффектов зависит как от типа излучения (альфа, бета, гамма и др.), так и от того, какие органы или ткани тела облучаются.

Эквивалентная доза Н служит мерой риска при облучении отдельного органа или ткани человека, с учетом типа излучения. Она получается из поглощенной дозы умножением на коэффициенты w_r , называемые *взвешивающими множителями излучения*:

$$H = D \cdot w_r .$$

Значения этих коэффициентов составляют: 1 – для гамма и бета-излучения, и 20 – для альфа-излучения.

Наиболее полной величиной, описывающей стохастические эффекты, служит **эффективная доза Е**, так же измеряемая в зивертах или производных единицах. Она определяет риск при облучении всего организма и равна сумме произведений эквивалентных доз для отдельных органов или тканей на так называемые *тканевые множители* (w_t):

$$E = w_1 \cdot H_1 + w_2 \cdot H_2 + \dots + w_t \cdot H_t + \dots .$$

Эти множители учитывают неодинаковую чувствительность разных органов или тканей человека к воздействию излучения. Наиболее высоки значения тканевых множителей для красного костного мозга, легких, желудка, толстого кишечника и молочной железы (по 0,12). Для половых желез соответствующее значение составляет 0,08; для мочевого пузыря, пищевода, печени и щитовидной железы – по 0,04. Минимальные значения тканевых множителей имеют: костная поверхность, кожа, головной мозг и слюнные железы – по 0,01.

Эквивалентная и эффективная доза относятся к нормируемым величинам. Это означает, что для них установлены нормы – пределы, превышение которых опасно для человека. Нормируемые величины являются расчетными, они находятся исходя из поглощенной дозы. Однако измерение поглощенной дозы проблематично. Несложно сделать прибор для измерения энергии излучения, поглощенной в единице массы воздуха. Однако такой прибор невозможно разместить в человеческом

органе или ткани, чего требуют понятия эквивалентной и эффективной дозы.

Выход был найден в использовании так называемых *операционных дозиметрических* величин. Они непосредственно измеряются приборами – **дозиметрами**, и с их помощью можно достаточно точно оценить нормируемые величины. Дозиметры измеряют поглощенную дозу в объеме воздуха, прилегающего к человеческому телу, исходя из интенсивности и энергии попадающего в детектор излучения. Их показания однозначно связаны со значением поглощенной дозы в участке человеческого тела. Используя специальные методы, дозиметры можно откалибровать так, чтобы они выдавали показания, достаточно близкие к значениям эквивалентной дозы в органе или ткани или эффективной дозы для всего тела.

Одна из операционных величин – **амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$** представляет собой оценку эффективной дозы внешнего рентгеновского или гамма-излучения. Можно сказать, что она равна эффективной дозе, которую получил бы человек, если бы он находился в том месте, где производится измерение. Говоря об *оценке*, имеется в виду, что результат измерения, как правило, не ниже истинного значения эффективной дозы. Иными словами, оценка производится с запасом, то есть является *консервативной*.

Еще одна операционная величина – **индивидуальный эквивалент дозы $H_p(d)$** . Эта величина измеряется специальными *индивидуальными дозиметрами*. Ими снабжаются работники, имеющие непосредственное отношение к источникам ионизирующих излучений (*профессионалы*).

Определение величины $H_p(d)$ учитывает тот факт, что индивидуальные дозиметры носят на поверхности тела. С некоторым упрощением можно считать, что индивидуальный эквивалент дозы соответствует эквивалентной дозе на глубине d мм под той точкой на поверхности тела человека, где носится индивидуальный дозиметр. Для оценки эффективной дозы, как следует из обозначения *амбиентного эквивалента дозы*, используется значение $d=10$ мм, а для оценки эквивалентной дозы в коже, кистях рук и ступнях ног рекомендована величина

$d=0,07$ мм. При контроле профессионального облучения используются и некоторые другие операционные величины.

Сказанное выше относится к дозам **внешнего** облучения, когда источники радиации расположены вне тела человека.

Дозы **внутреннего облучения** от радионуклидов, попавших в человеческое тело, определяют другим путем. Их можно вычислить по специальным методикам, зная активность радионуклидов, которая измеряется *счетчиками излучения человека (СИЧ)*. Полная эффективная доза облучения человека находится как сумма доз внешнего и внутреннего облучения. Наиболее широко используется **среднегодовая эффективная доза облучения**.

Законом «О радиационной безопасности населения» Республики Беларусь для населения установлен следующий основной предел дозы облучения: **средняя годовая эффективная доза не должна превышать 1 мЗв**. Для профессионалов соответствующий предел составляет 20 мЗв.

В законе оговорено, что дозы облучения, о которых идет речь, не включают в себя дозы, создаваемые *естественным и искусственным (техногенным) радиационным фоном*, в том числе дозы, получаемые при медицинском облучении. Эти дозы не так малы, как может показаться. Средняя годовая эффективная доза облучения жителя Земли составляет около 2,8 мЗв. Из них 2,4 мЗв приходится на естественный фон (космическое излучение и излучение радионуклидов, содержащихся в земной коре), а 0,4 мЗв – на техногенный. Преобладающая часть техногенного облучения обусловлена медицинскими диагностическими процедурами: рентгеновскими и другими.

Доза зависит от характеристики и расположения источника излучения (уровня радиации) и растет с увеличением времени облучения. Поэтому отношение дозы ко времени, называемое, **мощностью дозы (МД)**, можно использовать для описания уровня радиации. Основным режимом работы любого *дозиметра* является измерение именно мощности дозы. В качестве единицы измерения МД используют **микрзиверт в час (1 мкЗв/ч)** или более крупные единицы. Уровень естественной (фоновой) радиации от гамма-излучения примерно равен 0,1 мкЗв/ч.

Величина амбиентного эквивалента дозы и мощность этой величины используются для мониторинга рабочих мест. Если индивидуальный эквивалент дозы предназначен для оценки дозы, которую фактически получил конкретный человек за установленный промежуток времени, то амбиентный эквивалент дозы служит для оценки годовой эффективной дозы, которую бы получил некий «стандартный» человек в условиях работы на определенном рабочем месте. Эта доза подсчитывается как произведение средней мощности амбиентного эквивалента дозы в этом месте на количество рабочих часов в году. Цель – проверить превышает ли или не превышает дозовый предел (1 мЗв для населения и 20 мЗв для профессионалов). Превышение прогнозируемой годовой эффективной дозы значения 5 мЗв служит критерием для введения индивидуального дозиметрического контроля персонала.

2 РАДИОМЕТРИЯ

Основной задачей системы радиационного контроля, развернутой в Республике Беларусь в связи с последствиями аварии на Чернобыльской АЭС, является обеспечение радиационной защиты населения. Конкретно речь идет о том, чтобы не допустить превышения установленного законодательством предела среднегодовой эффективной дозы облучения, равного 1 мЗв.

В текущем периоде преобладающий вклад в полную дозу вносит внутреннее облучение, возникающее в основном за счет потребления содержащих радионуклиды продуктов питания. С учетом этого введены нормы (предельные значения) для содержания радионуклидов в продуктах питания и питьевой воде. Нормы устанавливаются таким образом, чтобы для усредненного рациона питания человека гарантированно обеспечивалось не превышение годового предела эффективной дозы (1 мЗв).

Соблюдение норм обеспечивается радиационным контролем продуктов питания, в основе которого лежат методы радиометрии. Задача радиометрии – определение содержания радионуклидов в конкретном образце (пробе). Важнейшее физическое понятие радиометрии – *активность*.

Активность (A) одновременно характеризует быстроту распада радионуклидов в образце, интенсивность испускаемого им излучения, а в соответствии с законом радиоактивного распада – и содержание радионуклидов в образце. Ее величина равна числу распадов, происходящих в образце за единицу времени. Приборы, измеряющие активность, называются **радиометрами**. Исходя из определения, измерение активности можно свести к измерению интенсивности сопровождающего распад излучения.

Единицей измерения активности служит **беккерель (Bк)**:

$$1 \text{ Bк} = 1 \text{ распад/с.}$$

Устаревшая единица измерения – **кюри (Ки)**, которая определялась как активность 1 г радия. Соотношение между этими единицами таково:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bк.}$$

Из последнего соотношения вытекает, что беккерель – относительно мелкая единица, а кюри – крупная, поэтому на практике часто используют их производные: $1 \text{ kBк} = 10^3 \text{ Bк}$, $1 \text{ MBк} = 10^6 \text{ Bк}$, $1 \text{ мКи} = 10^{-3} \text{ Ки}$ и т. п.

На практике наибольший интерес представляет концентрация радионуклидов в образце, потому вводятся понятия удельной и объемной активности.

Удельной активностью (A_m или УА) называется активность единицы массы образца:

$$A_m = \frac{A}{m},$$

измеряемая в **Bк/кг**.

Объемной активностью (A_v или ОА) называется активность единицы объема образца:

$$A_v = \frac{A}{V}.$$

Единицей измерения удельной активности обычно служит $1 \text{ Bк/л} = 10^3 \text{ Bк/м}^3$.

Как правило, радиометры снабжают специальными сосудами для образцов (*сосуды Маринелли*). Они имеют заданный объем, обычно 1 л, что упрощает измерение объемной активности. По результатам этого измерения находится и удельная активность.

Проще всего это сделать для воды и других образцов такой же плотности, так как 1 л воды весит ровно 1 кг. Для веществ с плотностью отличной от 1 кг/л требуется взвешивание образца.

Вследствие особенностей регистрации излучений наиболее просто строятся радиометры для гамма-излучающих радионуклидов. Построение бета- и особенно альфа-радиометров – значительно более сложная задача. Тем не менее, некоторые, даже простейшие, измерительные устройства позволяют оценить активность бета-излучающих радионуклидов. Такие приборы имеют режим измерения **плотности потока бета-частиц (P)**, определяемой как число частиц (ΔN), излучаемых образцом в единицу времени (Δt) с поверхности единичной площади (ΔS):

$$P = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot \Delta S}.$$

Единицами измерения этой величины обычно служат 1 *част./*(с·см²), 1 *част./*(мин·см²) или просто 1/(с·см²), 1/(мин·см²).

Измерение плотности потока бета-частиц традиционно относят к задачам радиометрии. Однако реализовать эту функцию несложно в дозиметрах, что обычно и делается. Такие дозиметры называют **дозиметрами-радиометрами**. Некоторые из таких приборов, например, МКС-АТ1125 способны измерять итак называемый *флюенс* альфа или бета-частиц. В случае пучка частиц **флюенс** – это отношение числа частиц ΔN , пересёкших перпендикулярную пучку элементарную площадку, к ее площади ΔS .

3 СПЕКТРОМЕТРИЯ

Основной задачей спектрометрии является качественный анализ, то есть определение состава, радионуклидов в образце. Это возможно благодаря тому, что испускаемые ядрами гамма-кванты и альфа-частицы имеют строго определенные значения энергии (E), зависящие от типа ядра. В случае бета-распада энергия испускаемого излучения может лежать в интервале от нуля до вполне определенного граничного значения ($E_{гр}$), так же зависящего от типа ядра.

Спектр излучения называется зависимость интенсивности излучения (J) источника от его энергии (E). Другими словами, спектр – *распределение* числа испускаемых в

единицу времени квантов излучения по значениям их энергии. Прибор для измерения спектров называется **спектрометром**.

Теоретически спектр гамма-излучения состоит из острых пиков, и уникален для каждого радионуклида. При этом чаще всего в схеме распада конкретного радионуклида присутствует единственный гамма-переход, а спектр состоит из одного пика с определенным значением энергии.

Если же образец содержит множество радионуклидов, то спектр выглядит как набор пиков, каждый из которых соответствует конкретному радионуклиду. Это и дает возможность определения состава радионуклидов в пробе.

Спектры излучений измеряют, используя *детекторы излучений*, которые будут рассмотрены в следующем разделе. Здесь же отметим, что чаще всего используют *электронные детекторы*, в которых каждому кванту излучения соответствует электрический сигнал на выходе. Сигнал обычно представляет собой кратковременный импульс (всплеск) напряжения или тока.

Многие детекторы обладают **энергетическим разрешением**, то есть способностью выдавать импульсы, амплитуда которых пропорциональна энергии частицы, попавшей в детектор. Тогда судить о спектре излучения радионуклида можно по **спектру выходных импульсов** детектора (амплитудному спектру), то есть распределению числа выходных импульсов по значениям их амплитуды.

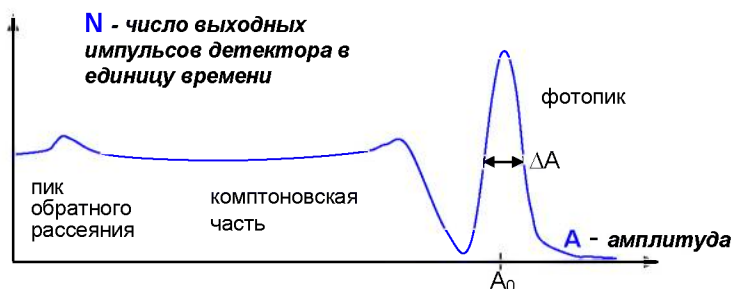
Особенности процессов в детекторе приводят к тому, что экспериментально полученный спектр гамма-излучения отличается от «теоретического».

Во-первых, детектор регистрирует не сами гамма-кванты, а порождаемые ими вторичные электроны. Последние образуются в веществе за счет трех эффектов. При **фотоэффекте** вся энергия гамма-кванта передается вторичному электрону. При **Комптон-эффекте** вторичному электрону передается лишь часть энергии, а гамма-квант продолжает свое движение в веществе. В случае **эффекта образования пар** гамма-квант порождает две заряженные частицы: электрон и позитрон (античастицу к электрону).

Эффект образования пар несущественен при энергиях гамма-излучения меньше нескольких $MэВ$, поэтому далее

рассматриваться не будет. Фотоэффект приводит к возникновению в спектре **фотопика**, или точнее *пика полного поглощения*. Его положение несет прямую информацию об энергии гамма-излучения, а высота (или площадь) – об активности измеряемого образца. За счет Комpton-эффекта в спектре образуется пологая часть с некоторым граничным значением энергии (левее фотопика).

Во-вторых, энергетическое разрешение детекторов неидеально, поэтому происходит размытие спектра, приводящее в частности к значительному уширению фотопика. На рисунке представлен реальный спектр, полученный с использованием сцинтилляционного детектора излучений. При этом число импульсов детектора, зарегистрированных в единицу времени (N), очевидно, пропорционально интенсивности (J) падающего на детектор гамма-излучения, а их амплитуда (A) – энергии (E).



Реальный спектр гамма-излучения для радионуклида с единственным гамма-переходом, полученный с помощью сцинтилляционного детектора

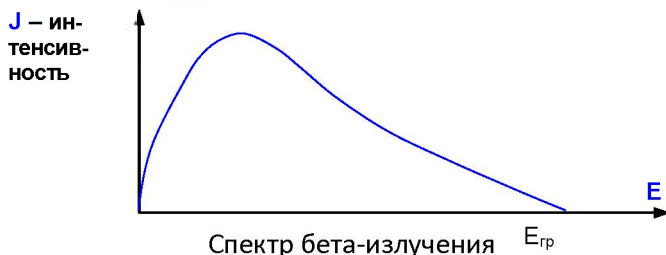
Небольшой пик в области малых энергий называется **пиком обратного рассеяния**. Он возникает в реальных условиях измерений из-за того, что часть гамма-квантов может пролететь через детектор и вернуться в него, испытав рассеяние назад на оболочке или других конструктивных элементах детектора. При этом энергия рассеянных квантов почти одинакова для небольших отклонений от направления строго назад.

Представленный на рисунке спектр называют также **аппаратурной формой линии** или *функцией отклика детектора* на воздействие гамма-излучения фиксированной энергии. Отношение ширины фотопика (ΔA), измеренной на полувысоте, к

его положению (A_0), выраженное в процентах, используют в качестве **величины энергетического разрешения детектора** (ε):

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_0}.$$

Спектр бета-излучения имеет непрерывный характер и простирается до определенного граничного значения энергии ($E_{гр}$), которое пропорционально энергии бета-перехода.



Спектрометр совершеннее других приборов. В частности, он способен исполнять функции радиометра. При решении задач радиационного контроля в связи с последствиями чернобыльской аварии возможности спектрометра «различать» излучения с разной энергией используются ограниченно. В большинстве случаев они нужны лишь для того, чтобы отличать излучения чернобыльского радионуклида цезий-137 и естественного радионуклида калий-40.

В то же время устройство спектрометра позволяет без труда вычислять значение активности каждого радионуклида в пробе. Так радиометр РКГ-АТ1320, фактически представляющий усеченный вариант спектрометра, способен одновременно находить активности цезия-137, калия-40 и еще двух естественных радионуклидов – радия-236 и тория-232.

Спектрометр МКС-АТ1315 способен находить активности как этих, так и других радионуклидов. Его важной особенностью является наличие двух независимых каналов регистрации, что позволяет одновременно измерять как гамма-, так и бета-спектр образца. В «чернобыльских» задачах это означает возможность одновременного измерения активностей цезия-137 и стронция-90.

4 РЕГИСТРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ

Под регистрацией понимается обнаружение излучений и измерение их основных характеристик: энергии (E) и интенсивности (J). Устройства для регистрации излучений называют **детекторами**.

Детекторы описываются множеством параметров, важнейшие из которых – **энергетическое разрешение** (описано в предыдущем параграфе) и **эффективность регистрации**, которая определяется как доля зарегистрированных частиц из всех, попавших в рабочий объем детектора.

В приборах радиационного контроля обычно используются три типа детекторов излучений: *газоразрядные*, *сцинтилляционные* и *полупроводниковые*.

Не вдаваясь в детали устройства, отметим, что **газоразрядные детекторы** используют явление ионизации при прохождении заряженной частицы излучения через вещество. Рабочий объем, ограниченный стенками из тонкого алюминия, заполнен газом. Возникающие в нем при ионизации электроны и ионы движутся, соответственно, к положительному (аноду) и отрицательному (катоду) электродам. При этом образуется электрический импульс (всплеск) тока, который на сопротивлении нагрузки преобразуется в импульс напряжения.

Поведение газоразрядного детектора существенно зависит от напряжения питания. При небольших напряжениях (десятки вольт) прохождение тока (газовый разряд) между анодом и катодом носит несамостоятельный характер и амплитуда импульса на выходе устройства пропорциональна энергии попавшей в детектор частицы. Детектор, работающий в таком режиме, называется **ионизационной камерой**. Он обладает энергетическим разрешением, но амплитуда импульсов на выходе весьма мала, что затрудняет практическое применение.

При напряжении питания в несколько сотен вольт существенную роль начинает играть явление **ударной ионизации**, когда каждый разогнанный полем в рабочем объеме электрон приобретает энергию достаточную для того, чтобы при столкновении с молекулой газа ионизировать ее, то есть выбить дополнительный электрон. Это явление приводит к лавинообразному нарастанию электронов; разряд в газе

приобретает самостоятельный характер и охватывает весь рабочий объем. Детектор, работающий в таком режиме (при повышенном напряжении питания), называется счетчиком **Гейгера-Мюллера**.

Достоинством газоразрядных детекторов является их невысокая стоимость. Так как в счетчике Гейгера-Мюллера разрядом охватывается весь его рабочий объем, амплитуда импульсов на выходе весьма значительна, и это еще одно достоинство. В то же время амплитуда импульсов перестает зависеть от энергии частицы. Следовательно, такой детектор не обладает энергетическим разрешением, что не позволяет его использовать в задачах радиометрии и спектрометрии.

Полупроводниковый детектор (ППД) имеет много общего с ионизационной камерой. Однако в качестве рабочего вещества используется не газ, а р-п переход, созданный в монокристалле полупроводника (кремния или германия).

Под действием частицы излучения в р-п переходе образуются электроны и дырки (вакансии для электронов, которые ведут себя как положительно заряженные частицы). Благодаря приложенному к р-п переходу напряжению (в запирающей полярности) возникает импульс тока, амплитуда которого пропорциональна энергии частицы. Энергия, необходимая для образования пары электрон-дырка значительно меньше, чем энергия ионизации атома газа, поэтому ППД обладает рекордно высоким энергетическим разрешением (малой величиной ϵ).

Полупроводниковые детекторы имеют высокую стоимость. Еще один недостаток – малая, как и для ионизационной камеры, величина выходных импульсов. При регистрации частиц с низкой энергией эти импульсы соизмеримы по амплитуде с *шумовыми импульсами*, уменьшить которые можно понижением температуры. Поэтому некоторые полупроводниковые детекторы требуют охлаждения до температуры жидкого азота, что значительно усложняет их конструкцию и эксплуатацию.

Сцинтилляционный детектор состоит из *сцинтиллятора* и *фотоэлектронного умножителя*. Его работа основана на возникновении в некоторых соединениях вспышек света (сцинтилляций) под действием заряженных частиц. Регистрируемая частица возбуждает молекулу такого соединения, причем обратный переход в основное состояние сопровождается

испусканием фотона. В качестве **сцинтилляторов** используют неорганические и органические соединения, помещенные в оболочку цилиндрической формы. На одном торце оболочка отсутствует, что позволяет фотонам выходить наружу.

Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) преобразует слабые вспышки света в электрические импульсы. ФЭУ отличается от вакуумного фотоэлемента тем, что в нем кроме фотокатода и анода содержится ряд промежуточных анодов (динодов). Сцинтиллятор обычно примыкает своим торцом к плоскому фотокатоду, роль которого играет металлизированное покрытие на внутренней поверхности в торце стеклянной оболочки ФЭУ.

Возникшие в сцинтилляторе фотоны выбивают электроны из фотокатода. Анод ФЭУ подключен к высоковольтному источнику напряжения (порядка тысячи вольт). От этого же источника с помощью резисторного делителя напряжение подается и на диноды. При этом потенциал первого динода выше, чем катода, а каждого последующего динода (в том числе и анода) выше, чем предыдущего. Ускоряясь в промежутке между парой электродов, электрон приобретает энергию достаточную для того, чтобы выбить из динода дополнительные электроны (**вторичная эмиссия электронов**).

Благодаря этому, а также специальной геометрии расположения электродов, всякий электрон, выбитый из фотокатода, рождает лавину, которая приводит к появлению в анодной цепи значительного импульса тока. Сцинтилляционные детекторы имеют неплохое энергетическое разрешение, но уступают по этому параметру полупроводниковым детекторам.

Как и для всех детекторов, регистрация гамма-излучения возможна за счет образуемых в рабочем веществе (сцинтилляторе) вторичных электронов, которым передается вся или часть энергии гамма-квантов. Именно эти электроны, фактически бета-частицы, возбуждают атомы сцинтиллятора.

Для гамма-излучения обычно используют твердые сцинтилляторы на основе монокристаллов NaJ и CsJ. При регистрации бета-излучения предпочтительнее использование органических сцинтилляторов.

Сравнительная характеристика детекторов, используемых в задачах радиационного контроля, представлена в таблице.

Основные параметры распространенных детекторов излучений

Детектор	Эффективность регистрации, %	Энергетическое разрешение
Гейгера-Мюллера	гамма ~ 1, бета – 10-100	нет
Сцинтилляционный	гамма ~ 10, бета – 100	хорошее
Полупроводниковый	гамма ~ 10, бета – 100	очень высокое

Следует обратить внимание на то, что эффективность регистрации сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов примерно на порядок выше, чем у счетчиков Гейгера-Мюллера. Это объясняется тем, что в сцинтилляционном и полупроводниковом детекторах рабочее вещество – твердое, то есть значительно более плотное, чем газ в счетчике Гейгера-Мюллера. Эффективность регистрации гамма-квантов ниже, чем бета-частиц, вследствие высокой проникающей способности гамма-излучения.

5 КЛАССИФИКАЦИЯ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИБОРОВ

В задачах радиационного контроля используют три основных типа приборов: *спектрометры, радиометры и дозиметры*.

Дозиметры предназначены для оценки эквивалентной или эффективной дозы излучения. Простейшие из них рассчитаны только на фотонное излучение: гамма и рентгеновское. Обычно они строятся на основе недорогих счетчиков Гейгера-Мюллера, не обладающих энергетическим разрешением. Зависимость поглощенной дозы от энергии фотонов учитывается установкой перед детекторами специальных корректирующих фильтров, тем сильнее ослабляющих интенсивность излучения, чем меньше его энергия.

В ряде дозиметров, например РКС-107, Белрад-04-01, МКС-АТ6130, предусмотрено измерение плотности потока бета-частиц с загрязненной поверхности. В этом режиме крышка с фильтром, установленная на специальном шарнире в задней части прибора,

откидывается. Напомним, что измерение плотности потока традиционно относится к задачам радиометрии, потому такие приборы называются **дозиметрами-радиометрами**.

Некоторые комбинированные приборы, такие как дозиметр-радиометр МКС-АТ1125, радиометр-дозиметр МКС-01 «Советник» построены с использованием сцинтилляционных детекторов. В режиме дозиметра они обладают значительно более высокой, чем у простейших приборов, чувствительностью, что позволяет достигнуть 10 % статистической погрешности измерения всего за 2-3 с. Поэтому с их помощью можно намного эффективнее производить контроль однородности партий продукции.

Основное назначение **радиометров** – измерение удельной и объемной активности образцов. Наиболее распространены радиометры для радионуклидов, испускающих гамма-излучение. Как правило, в них используются сцинтилляционные детекторы. Благодаря наличию энергетического разрешения они обеспечивают *селективность*, то есть способность настроиться на излучение конкретного радионуклида (чаще всего – цезия-137 и калия-40). Селективность обеспечивается также электронными схемами, отбирающими сигналы детектора только с определенными значениями амплитуды, и блоком обработки.

При проведении измерений удельной (УА) или объемной (ОА) активности интенсивность излучений, испускаемых содержащимися в образце радионуклидами, обычно значительно меньше фоновой. Чтобы снизить влияние фона на процесс измерения активности, образец вместе с детектором помещают в блок защиты – «домик» из свинца, стали или комбинации металлов. Эти материалы должны иметь как можно меньшее содержание радионуклидов природного или техногенного происхождения.

Важная характеристика любого радиометра – нижний предел измеряемой активности. Эта величина существенно зависит от качества блока защиты, рабочего объема и эффективности регистрации детектора. **Чем меньше значения активности приходится измерять, тем качественнее должны быть защита и детектор.**

Особенности проникающей способности гамма-излучения приводят к тому, что даже при наличии блока защиты имеется

остаточный фон, который нужно учесть при выполнении измерений. Поэтому все методики выполнения радиометрических измерений предусматривают процедуру вычитания фона. В старых приборах это делается вручную, в приборах нового поколения – автоматически.

Спектрометры дают наиболее полную информацию об излучении образца. Они позволяют определить состав радионуклидов в образце и активности каждого из них. Задача обработки спектров обычно возлагается на персональный компьютер.

Широко распространены спектрометры для измерения спектров гамма-излучения. В них часто используют сцинтилляционные детекторы, обладающие энергетическим разрешением. Более высокими параметрами обладают спектрометры на основе полупроводниковых детекторов.

При измерениях бета- или альфа-излучения, обладающих низкой проникающей способностью, прохождению излучения не должны мешать стенки используемого сосуда и входного окна детектора. Основной вклад в регистрируемое излучение дает слой образца, обращенный к детектору. Влияние стенок можно вообще исключить, растворяя пробу в жидком сцинтилляторе.

Измерение спектров бета-излучения чаще всего проводят с использованием сцинтилляционных детекторов на основе пластиковых сцинтилляторов. Именно такой метод используется в спектрометре МКС-АТ1315. Для повышения чувствительности измерений исследуемые образцы подвергают термическому концентрированию (до частичного озоления). Жидкие образцы (вода, молоко) пропускают через волокнистый катионит, который после высушивания используют в качестве пробы.

Наиболее сложны альфа-спектрометры. В силу очень низкой проникающей способности альфа-излучения измерения обычно производят в вакуумной камере с использованием полупроводникового детектора. Определение состава радионуклидов возможно на «тонких» образцах, получаемых методом электролитического осаждения на специальные подложки.

В названии любого прибора первые три буквы несут информацию о его назначении, остальные знаки – о предприятии изготовителе и номере разработки. Расшифровка первых букв

названия для наиболее распространенных приборов представлена в таблице.

Первая буква		Вторая буква		Третья буква	
Д	дозиметры	Р	мощность экспозиционной дозы	Б	бета-излучение
Р	радиометры	Б	мощность эквивалентной дозы	Г	гамма-излучение
С	спектрометры	У	удельная активность радионуклида	Д	рентгеновское излучение
М	комбинированные	К	две и более физических величины	С	смешанное излучение

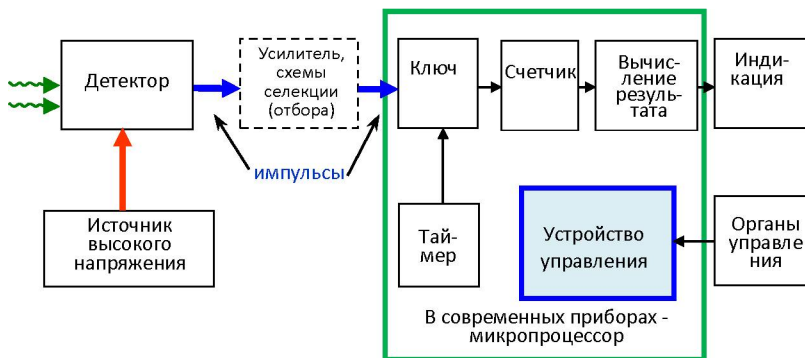
6 УСТРОЙСТВО ПРИБОРОВ

Сутью работы любого прибора является преобразование и обработка информации, содержащейся в сигналах детектора. Такое преобразование обычно ведется вначале *аналоговыми* схемами, затем – *цифровыми*.

Об аналоговой форме представления информации говорят тогда, когда физическая величина, несущая сигнал, может принимать непрерывный ряд значений. Именно такую форму имеют импульсы напряжения на выходе детектора. Аналоговая обработка обычно производится усилителями импульсов и схемами амплитудной селекции (*дискриминаторами*), которые осуществляют отбор импульсов с амплитудами, лежащими в определенном диапазоне.

Дальнейшая обработка информации производится цифровыми схемами, сигналы в которых имеют конечное множество значений (дискретны). В простейшем дозиметре такая обработка сводится к подсчету импульсов на выходе дискриминатора. Это осуществляется одной из простейших цифровых схем – *счетчиком*.

Другие цифровые схемы выполняют функции управления и вывода результатов. В их числе – *таймер*, задающий время измерения, а также схемы, которые следят за состоянием кнопок управления, производят обработку и вывод данных.

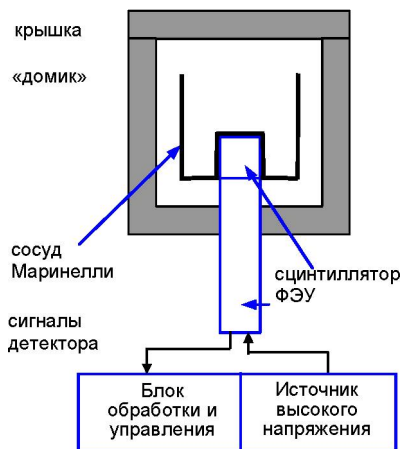


Блок-схема радиометра или дозиметра

Отображение результатов чаще всего выполняет *жидкокристаллический индикатор* (ЖКИ), достоинство которого – очень малое потребление энергии. В некоторых приборах, например, спектрометрах, необходимы *аналого-цифровые преобразователи* (АЦП), которые преобразуют величину амплитуды импульсов в цифровой (двоичный) код.

Во всех современных приборах функции цифровой обработки информации возлагают на микропроцессор, или персональный компьютер. И тот и другой представляют собой универсальные устройства обработки цифровой информации. В зависимости от написанной *программы*, которая хранится в их *памяти*, они реализуют произвольные алгоритмы функционирования.

При измерениях объемной активности необходимо учитывать объем пробы. Проще всего это достигается помещением образца в сосуд заданного объема до полного его заполнения. Когда сосуд помещается в домик для измерений, сцинтиллятор детектора оказывается в углублении нижней части сосуда. Такая геометрия измерений повышает эффективность работы детектора, поскольку гамма-кванты попадают в него с нескольких сторон, а не только сверху.



Устройство радиометра

Алгоритм работы и устройство радиометра сложнее, чем дозиметра. Дополнительно к тем электронным схемам, которые есть в дозиметре, радиометр содержит и некоторые другие. Одни из них служат для ввода в прибор значения массы образца и ее учета, что необходимо при измерениях удельной активности.

Поскольку даже при наличии защиты невозможно полностью избавиться от фоновых излучений (космических гамма квантов, радионуклидов, содержащихся в конструктивных элементах прибора), необходимо предусмотреть процедуры измерения фона и его автоматического вычитания.

Сложнее других приборов устроен спектрометр. Напомним, что судить о спектре излучения можно по спектру амплитуд выходных импульсов детектора.

Распределять импульсы детектора в зависимости от значения их амплитуды и хранить полученное распределение в памяти прибора проще, если амплитуда импульсов представлена в цифровом виде. Этот процесс (оцифровка) производится аналого-цифровым преобразователем. С его помощью каждому значению амплитуды ставится в соответствие определенное число. Полученное число используется как адрес ячейки памяти (**номер канала**), где хранятся все случаи регистрации импульсов с данным значением амплитуды. Одновременно с каждым срабатыванием АЦП производится добавление единицы к содержимому соответствующего канала.

Спектр, выводимый на дисплей, строится как совокупность точек. Горизонтальная координата каждой точки – номер канала,

пропорциональный энергии частиц, а вертикальная – содержимое канала, пропорциональное числу зарегистрированных частиц, то есть интенсивности. Дискретный характер спектра (конечное число точек) является результатом оцифровки. Число каналов в спектрометре обычно составляет $2^{10} = 1024$, но может быть равным и другой степени числа 2.

7 ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Всегда ли результат измерения совпадает с истинным значением измеряемой величины? Положительный ответ на этот вопрос возможен далеко не для всех случаев. Так, счетчик, подсчитывающий число зарегистрированных детектором гамма-квантов, всегда работает безошибочно. Это же справедливо для большинства устройств обработки цифровой информации. Вот почему все большее распространение получают цифровые телевизоры, приемопередающие устройства, фотоаппараты, не говоря уже о компьютерах.

В большинстве же случаев, особенно при измерениях аналоговых величин, или на этапе их преобразования в цифровую форму (и наоборот) неизбежно возникают ошибки (погрешности). При этом результат измерения некоторой величины $x_{\text{изм}}$ отличается от неизвестного нам истинного значения $x_{\text{ист}}$. Различие этих двух значений называют **погрешностью измерений**. Погрешность измерений представляют в двух следующих формах.

$$1) \quad \Delta = x_{\text{изм}} - x_{\text{ист}} .$$

Величина Δ называется абсолютной погрешностью. Можно сказать так: абсолютная погрешность это погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины.

$$2) \quad \delta = \frac{\Delta}{x_{\text{изм}}} .$$

Величина δ называется относительной погрешностью. Она выражается отношением абсолютной погрешности к значению измеряемой величины (в процентах).

Различают два основных вида, а точнее – две составляющих погрешностей измерений:

1. **Статистическая** (случайная) погрешность проявляется в том, что показания одного и того же прибора, полученные в совершенно одинаковых условиях измерения, разнятся друг от друга. Так, при повторных измерениях рулеткой длины протяженного предмета может возникнуть определенный разброс результатов. В приборах статистическая погрешность может возникать вследствие колебаний параметров электрической сети, шумов электронных устройств и дрейфа их характеристик.

Роль статистической погрешности измерений особенно велика в радиологии, и это объясняется принципиально случайным характером всех событий в микромире. Распад ядра и испускание при этом частицы излучения происходят в случайные моменты времени. Так же случайны и процессы регистрации частиц в детекторе. Однако статистический разброс результатов может быть сколь угодно снижен путем усреднения результатов нескольких измерений, а в задачах радиологии – еще и увеличением времени измерения.

2. Устранить влияние на результат некоторых других составляющих погрешности затруднительно или вовсе невозможно. В их числе **систематические** погрешности. При повторных измерениях одной и той же величины систематическая погрешность остается постоянной или же закономерно изменяется. Причины таких погрешностей кроются в несовершенстве инструмента и методик измерений.

Примером возникновения систематической погрешности может служить *прямое измерение* длины с помощью кустарно изготовленной или деформированной рулетки. Так, из-за неравномерности делений шкалы результат измерения длины малых предметов может стабильно оказываться меньше истинного, а протяженных – больше. Не исключено, что в каком-то диапазоне измерения могут давать результаты, близкие к истинным. Систематическую погрешность можно снизить путем введения поправок к измерениям. Значения таких поправок можно получить, заранее проведя ряд сравнительных измерений рулеткой и заведомо более точным инструментом.

Сложнее обстоит дело в случае *косвенных измерений*. В этом случае над непосредственно измеряемой величиной (или несколькими величинами) в приборе производятся определенные

преобразования или вычисления, в ходе которых и получается результат. При этом возникает целый ряд причин возникновения систематических погрешностей.

В радиометрии непосредственно измеряемой величиной является скорость счета импульсов, которые зарегистрировал детектор. Счетчик в определенном смысле можно считать абсолютно точным устройством. Однако на его показания кроме интересующей нас величины удельной активности оказывает влияние целый ряд факторов, учесть которые непросто. В их числе: геометрия измерений, настройки схем амплитудной селекции импульсов, нелинейность усилителя импульсов или АЦП.

Серьезной проблемой является поддержание стабильной работы всех узлов прибора, ведь результат могут исказить изменившиеся напряжение питания детектора или коэффициент усиления (преобразования) аналоговых схем. Если такой дрейф параметров происходит медленнее, чем длится одно измерение, он вносит вклад в систематическую погрешность. С целью ее исключения периодически проводят калибровку прибора, например, с использованием эталонных источников излучений. Однако в момент измерения все равно присутствует некоторое отклонение действительной функции преобразования прибора от калибровочной зависимости. Оно обусловлено погрешностью калибровки и дрейфом функции преобразования прибора за время, прошедшее после калибровки.

Наконец, теоретические модели нахождения результата или алгоритмы соответствующих вычислений могут быть приближенными, грубыми. Например, в дозиметрах на основе счетчика Гейгера-Мюллера, который не обладает энергетическим разрешением, показания счетчика импульсов никак не учитывают энергию регистрируемых гамма-квантов. Однако поглощенная доза обязана быть пропорциональна энергии гамма-излучения. Чтобы эту зависимость все-таки учесть, перед детектором ставится фильтр, который сильнее поглощает гамма-излучение с низкой энергией, чем высокой. Это упрощает прибор, но нужная прямо пропорциональная зависимость достигается лишь приближенно, причем с разной степенью точности для разных значений энергии гамма-излучения.

Снизить систематическую погрешность можно повышая качество всех используемых блоков и узлов, полнее учитывая все влияющие на результат параметры, совершенствуя теоретическую модель, вводя в прибор схемы стабилизации режимов работы, и другими путями. Совершенно очевидно, что более точный прибор оказывается и более дорогостоящим. Одно из применений таких приборов – оценка систематической погрешности или закона ее изменения в более простых, массовых приборах. Величина систематической погрешности или закон ее изменения всегда указываются в техническом паспорте на прибор.

На систематическую погрешность оказывают влияние и чисто внешние условия, в которых проводятся измерения. В этой связи различают *основную* и *дополнительную* погрешность. **Основная погрешность** – погрешность прибора, проявляющаяся при нормальных условиях эксплуатации. Нормальные условия эксплуатации обычно указываются в паспорте на прибор. В этот перечень включаются такие параметры, отклонение от которых может исказить результат.

Дополнительная погрешность возникает при отклонении какого-либо из условий эксплуатации (температура, напряжение питания, влажность и др.) от нормального значения. Так, в паспорте радиометра РКГ-АТ1320 записано, что пределы допускаемой дополнительной относительной погрешности измерения не превышают:

± 3 % от показаний радиометров в нормальных условиях при изменении температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне температур (20 ± 5 °С);

± 3 % при изменении напряжения питания от номинального значения: 230 (+23; -35) В;

± 3 % при изменении напряженности магнитного поля до 40 А/м.

Нахождение **результатирующей погрешности** измерений – весьма непростая задача. Теория говорит, что в большинстве реальных случаев погрешности, имеющие различную природу, должны складываться геометрически (по квадратичному закону сложения):

для абсолютной погрешности –

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \dots},$$

для относительной –

$$\delta x = \sqrt{\delta x_1^2 + \delta x_2^2 + \dots}.$$

Существенная особенность квадратичного сложения состоит в том, что оно всегда дает меньшее значение результирующей погрешности, чем при арифметическом суммировании. Как следствие, результирующая погрешность ближе по своему значению к большей из составляющих. Поэтому нет смысла предельно уменьшать одну из составляющих погрешности, если другая не может быть уменьшена.

II ДОЗИМЕТРЫ И ДОЗИМЕТРЫ – РАДИОМЕТРЫ

1 ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР БЕЛРАД-04-01

1.1 Назначение

Прибор предназначен для определения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (далее – МД) и оценки плотности потока бета-частиц с загрязненных поверхностей при контроле радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях, на территории предприятия.

1.2 Технические характеристики

<i>Диапазон измерения</i>	
мощности дозы гамма-излучения	0,1 - 99,99 мкЗв/ч
плотности потока бета-частиц	10 - 5000 част./см ² ·мин)
Энергия регистрируемого излучения	0,06 - 1,25 МэВ
Время измерения	20 ± 5 с
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>	
мощности дозы гамма-излучения	не более ± 30 %
плотности потока бета-частиц	не регламентируется
<i>Условия эксплуатации</i>	
температура окружающего воздуха	от -5 до +40 °С
относительная влажность окружающего воздуха при температуре до +35 °С	до 95 %
атмосферное давление	84 - 106,7 кПа (630 - 800 мм рт. ст.)
Питание (элемент)	«Корунд» (9 В)

1.3 Устройство и органы управления

Работа данного прибора, как и большинства простых дозиметров, основана на измерении скорости счета электрических импульсов, порождаемых излучением в газоразрядных счетчиках Гейгера-Мюллера. Время измерения задается встроенным в прибор таймером.

Задняя крышка прибора снимается при измерении плотности потока бета-частиц.

На лицевой панели прибора находятся:

цифровое жидкокристаллическое табло

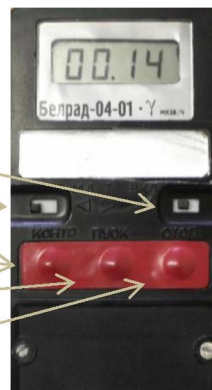
выключатель питания **ВКЛ**

переключатель режимов работы:
Т – поиск, **МД** – измерение

кнопка **КОНТР** – контроль работоспособности

кнопка **ПУСК** – включение измерения

кнопка **СТОП** – выключение измерения.



1.4 Включение и проверка работоспособности

Переведите переключатель **ВКЛ** в крайнее левое положение. Включение должно сопровождаться коротким звуковым сигналом. Если прибор после включения издает постоянный звуковой сигнал, то необходимо установить новый элемент питания.

Установите переключатель режимов работы в крайнее левое положение (**МД**) нажмите кнопку **КОНТР** и, удерживая ее в нажатом состоянии, запустите кнопкой **ПУСК** счет импульсов. При исправной работе прибора на цифровом табло должно отображаться число «05.12».

Переключатель режимов работы может находиться и в крайнем правом положении (**Т**), при этом точка после второй цифры отсутствует.

1.5 Порядок работы

1.5.1 Режим «Измерение мощности дозы»

Переведите переключатель режимов работы в положение **МД** (крайнее левое положение) и нажмите кратковременно кнопку **ПУСК**. При этом на цифровом табло должны появиться точки после каждого разряда и начинается счёт импульсов.

Примерно через 20 с измерение закончится, о чем сигнализирует звуковой сигнал, а на табло фиксируется число с одной точкой. Это показание прибора представляет собой значение МД в мкЗв/ч. Оно сохраняется до повторного нажатия на кнопку ПУСК или выключения прибора.

Для выполнения повторного замера нажмите кнопку ПУСК.

Выполните измерение не менее 5 раз и найдите среднее арифметическое значение измеренной мощности дозы (МД_{изм}).

Результат измерения запишите в виде

$$\text{МД} = \text{МД}_{\text{изм}} \pm \Delta,$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = \frac{\text{МД}_{\text{изм}} \cdot \theta}{100\%},$$

где θ – основная относительная погрешность, составляющая для данного прибора 30 %.

Если результат меньше нижнего предела измерений (0,10 мкЗв/ч), то запишите его в виде

$$\text{МД} = 0,10 \text{ мкЗв/ч.}$$

1.5.2 Режим «Поиск»

Данный режим предназначен для быстрого обнаружения источников излучения, при этом таймер прибора не работает.

Переведите переключатель режимов работы в положение Т (крайнее правое положение) и кратковременно нажмите на кнопку ПУСК. Прибор начнёт счёт импульсов, число которых индицируется на цифровом табло. Через каждые десять импульсов прибор будет подавать звуковой сигнал.

При естественном фоновом излучении прибор должен подавать 1-6 звуковых сигналов в минуту. С увеличением МД пропорционально возрастает частота следования звуковых сигналов. Поэтому движение вместе с прибором в сторону роста частоты сигналов даёт возможность локализации источника излучения.

1.5.3 Режим «Измерение плотности потока бета-частиц»

- Проверьте состояние задней крышка прибора, и при необходимости плотно закройте её. Переведите переключатель режимов работы в положение МД и включите прибор.

Поднесите прибор плоскостью задней крышки к исследуемой поверхности на расстояние 0,5-1,0 см и кратковременно нажмите кнопку ПУСК. Выполните измерение и запомните или запишите показания прибора (N_γ).

- Откройте заднюю крышку прибора.

Выполните измерение с открытой задней крышкой аналогично предыдущему абзацу. Запомните или запишите показание прибора ($N_{\gamma+\beta}$). Закройте заднюю крышку прибора.

Величину плотности потока бета-частиц с поверхности вычислите по формуле:

$$q = K_s (N_{\gamma+\beta} - N_\gamma), \text{ част./см}^2 \cdot \text{мин},$$

где N_γ – показание прибора с закрытой задней крышкой без учёта точки на табло, импульсов;

$N_{\gamma+\beta}$ – показание прибора с открытой задней крышкой без учёта точки на табло, импульсов;

Коэффициент счёта K_s для прибора составляет 0,5 част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин} \cdot \text{импульс}$).

1.6 Выключение прибора

Переведите переключатель ВКЛ в крайнее правое положение.

2 ДОЗИМЕТР ДБГ-06Т

2.1 Назначение

Дозиметр предназначен для измерения мощности эквивалентной дозы в окружающей среде или мощности экспозиционной дозы на рабочих местах, в смежных помещениях и на территории предприятий.

Согласно современным требованиям дозиметр должен давать оценку мощности эффективной дозы внешнего гамма или рентгеновского излучения. В качестве такой оценки допустимо использовать измеряемую прибором мощность эквивалентной дозы в $мкЗв/ч$.

2.2 Технические характеристики

<i>Диапазон измерения</i>	
мощности дозы гамма-излучения	0,1 - 99,99 $мкЗв/ч$
Энергия регистрируемого излучения	0,05 - 3,0 $МэВ$
Время измерения	не более 40 с
<i>Предел основной относительной погрешности измерения</i>	
эквивалентной дозы гамма-излучения	$\pm 15 \%$
<i>Пределы дополнительной относительной погрешности измерения</i>	
при отклонении температуры от нормальной (20 °С) на 10 °С	не больше $\pm 3 \%$
при отклонении влажности воздуха от нормальной (30 - 80 %)	не больше $\pm 15 \%$
<i>Условия эксплуатации</i>	
температура окружающего воздуха	от -10 до +40 °С
относительная влажность окружающего воздуха при температуре до +30 °С	до 90 %
атмосферное давление	84 - 106,7 $кПа$ 630 - 800 $мм рт. ст.$
Питание (элемент)	«Корунд» (9 В)

2.3 Устройство и органы управления

Работа прибора основана на измерении скорости счета электрических импульсов, порождаемых излучением в газоразрядных счетчиках Гейгера-Мюллера. Время измерения задается встроенным в прибор таймером.

На передней панели прибора находятся:

табло жидкокристаллического индикатора (ЖКИ)

переключатель режимов
ИЗМЕРение – ПОИСК – КОНТРОль

переключатель диапазонов измерений
мР/ч – мкЗв/ч – ВЫКЛ

кнопка подсветки шкалы индикатора

кнопка сброса показаний **СБРОС**.



2.4 Включение и проверка работоспособности

Установите переключатель диапазонов измерений в положение **мкЗв/ч**, а переключатель режимов в положение **КОНТР**.

Осуществите сброс показаний нажатием кнопки **СБРОС**.

При правильном функционировании дозиметра и пригодности источника питания на ЖКИ должно отображаться число «**0515**».

2.5 Порядок работы

2.5.1 Режим «Измерение мощности дозы»

Установите переключатель режимов в положение **ИЗМЕР** и нажмите кнопку **СБРОС**. В ходе измерения на цифровом табло отображаются нули, и мигает запятая в младшем разряде. Отсчет показаний произведите в конце цикла измерения, в момент прекращения мигания запятой. Новый цикл измерения начните, нажав кнопку **СБРОС**.

Выполните измерение не менее 5 раз и найдите среднее значение измеренной мощности дозы ($MД_{изм}$).

Результат измерения запишите в виде

$$MД = MД_{изм} \pm \Delta,$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = \frac{\text{МД}_{\text{изм}} \cdot \theta}{100\%},$$

где θ – основная относительная погрешность, составляющая для данного прибора 15 %.

Если результат меньше нижнего предела измерений (0,10 мкЗв/ч), то запишите его в виде

$$\text{МД} = 0,10 \text{ мкЗв/ч}.$$

При уровнях мощности дозы, превышающих предельные значения, на цифровом табло отображается переполнение – высвечивается символ «П» и отсутствует мигание запятой младшего разряда.

При отображении переполнения в режиме работы «Измерение» переключатель режимов работы переведите в положение **ПОИСК**.

2.5.2 Режим «Поиск»

Режим предназначен для быстрого обнаружения и локализации источника излучения.

Установите переключатель режимов в положение **ПОИСК** и нажмите кнопку **СБРОС**.

Определите направление излучения по максимальным показаниям на цифровом табло. В этом режиме смена информации на цифровом табло осуществляется автоматически каждые 4 с, причем отсчет показаний следует производить в момент гашения запятой.

Двигайтесь вместе с прибором в сторону роста показаний на индикаторе, пока не будет локализован источник излучения.

Показания прибора сохраняются до момента нажатия кнопки **СБРОС** и запуска дозиметра на новый цикл измерения.

Следует учитывать, что нормальное рабочее положение дозиметра, соответствующее максимальной чувствительности, – когда плоскость передней панели перпендикулярна направлению излучения.

2.6 Выключение прибора

Переключатель диапазонов измерений переведите в положение **ВЫКЛ**.

3 ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР РКС-107

3.1 Назначение

Прибор предназначен для:

– определения мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения при контроле радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях, на территории предприятия;

– оценки плотности потока бета-частиц с поверхности, загрязненной радионуклидами стронция-90 и иттрия-90 (^{90}Y – дочерний радионуклид – продукт распада ^{90}Sr);

– измерения в бытовых условиях удельной активности радионуклида цезий-137 в водных растворах.

Согласно современным требованиям дозиметр должен давать оценку мощности эффективной дозы внешнего гамма или рентгеновского излучения. В качестве такой оценки допустимо использовать измеряемую прибором мощность полевой эквивалентной дозы в мкЗв/ч .

3.2 Технические характеристики

<i>Диапазон измерения</i>	
мощности дозы гамма-излучения	0,1 - 999 мкЗв/ч
плотности потока бета-частиц	0,1 - 999 $1/(\text{с}\cdot\text{см}^2)$
удельной активности цезия-137	2 - 9990 Бк/г
Энергия регистрируемого излучения	0,06 - 1,25 МэВ
<i>Время измерения не превышает:</i>	
для мощности дозы гамма-излучения	53 с
для плотности потока бета-частиц	37 с
для удельной активности цезия-137	240 с
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>	
мощности дозы гамма-излучения	не более $\pm 30\%$
плотности потока бета-частиц	не более $\pm 45\%$
удельной активности цезия-137	не более $\pm 35\%$
<i>Пределы дополнительной относительной погрешности измерения</i>	
при отклонении температуры от нормальной (20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$	$\pm 20\%$
при изменении относительной влажности воздуха при температуре 35°C до 90%	$\pm 10\%$
<i>Условия эксплуатации</i>	
температура окружающего воздуха	от -10 до $+40$ $^{\circ}\text{C}$
относительная влажность воздуха при температуре до 35 $^{\circ}\text{C}$	не более 90%
атмосферное давление	70 - 106 кПа
Питание (элемент)	«Корунд» (9 В)

3.3 Устройство и органы управления

Работа прибора основана на измерении скорости счета электрических импульсов, порождаемых излучением в газоразрядных счетчиках Гейгера-Мюллера. Время измерения задается встроенным в прибор таймером.

На тыльной стороне прибора расположена крышка-фильтр, снимаемая при измерении плотности потока бета-частиц.

На лицевой панели прибора расположены:

табло жидкокристаллического индикатора (ЖКИ) с указателем режима измерений:

- мкЗв/ч** - мощность дозы,
- 1/(с·см²)** - плотность потока бета-частиц,
- Бк/г × 10** - удельная активность

кнопка **ПУСК** – пуск измерения

кнопка **РЕЖИМ** – выбор режима работы

кнопка **ВЫКЛ** – выключение прибора

кнопка **ВКЛ** – включение прибора.



3.4 Включение и проверка работоспособности

Нажмите кнопку **ВКЛ**, при этом раздастся звуковой сигнал, на табло появятся символы «000», а рядом с надписью **мкЗв/ч** – маркер указателя режима работы (черная черта) измерения мощности дозы. Для выбора иного режима последовательно нажмите кнопку **РЕЖИМ**, при этом происходит соответствующее перемещение указателя на табло.

3.5 Порядок работы

3.5.1 Режим «Измерение мощности дозы»

Убедившись, что прибор находится в режиме измерения мощности дозы (маркер на надписи **мкЗв/ч**), нажмите кнопку **ПУСК**. При этом раздастся звуковой сигнал, на табло между первыми двумя нулями появится точка, а указатель режима работы начнет пульсировать. В конце цикла измерения (через 53 с) вновь

раздастся звуковой сигнал, указатель режима перестанет пульсировать, а на табло отобразится результат измерения.

Выполните измерение не менее 5 раз (для запуска нового измерения нажмите кнопку **ПУСК**) и найдите среднее значение измеренной мощности дозы ($M_{изм}$).

Результат измерения запишите в виде

$$MД = M_{изм} \pm \Delta,$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = \frac{M_{изм} \cdot \theta}{100\%},$$

где θ – основная относительная погрешность, составляющая для данного прибора 30 %.

Чтобы включить индикацию превышения пороговых значений мощности дозы повторно нажмите кнопку **ВКЛ**, при этом в левой части табло появится символ «~». При мощности дозы, превышающей 0,6 мкЗв/ч, включается звуковой сигнал. Если мощность дозы превышает 1,2 мкЗв/ч, символ «~» начинает пульсировать, а частота звукового сигнала увеличивается. Для выхода из режима порогов повторно нажмите кнопку **ВКЛ**.

3.5.2 Режим «Измерение плотности потока бета-частиц»

Нажимая кнопку **РЕЖИМ**, установите указатель режима работы в положение $1/(с \cdot см^2)$.

- Измерьте фон, для чего расположите прибор на расстоянии не менее 1,5 м относительно исследуемой поверхности и нажмите кнопку **ПУСК**. Примерно через 37 с раздастся звуковой сигнал, указатель режима прекратит пульсировать, а на табло отобразится результат измерения.

Повторите измерения фона не менее 5 раз и найдите среднее значение.

Выключите прибор, нажав кнопку **ВЫКЛ**.

- Снимите заднюю крышку-фильтр. Нажмите кнопку **ВКЛ**, кнопкой **РЕЖИМ** установите режим $1/(с \cdot см^2)$.

Поднесите прибор к исследуемой поверхности на расстояние не более 1 см от неё и нажмите кнопку **ПУСК**.

Повторите измерение не менее 5 раз и найдите среднее значение.

Вычтите из найденного значения среднее значение фона.

Выключите прибор нажав кнопку **ВЫКЛ** и установите крышку-фильтр на прежнее место.

3.5.3 Режим «Измерение удельной активности»

Рабочий объем детектора излучений невелик, в приборе не предусмотрена защита от фоновых излучений, поэтому чувствительность при измерении удельной активности мала: нижний предел измеряемой активности составляет $2 \text{ Бк/г} = 2000 \text{ Бк/кг}$.

- Измерьте фон, для чего снимите заднюю крышку-фильтр, заполните измерительную кювету (половину упаковки прибора) водой до метки – буртика, установите прибор на кювету.

Включите прибор кнопкой **ВКЛ** и, нажимая кнопку **РЕЖИМ**, установите указатель в положение $\text{Бк/г} \times 10$.



Нажмите кнопку **ПУСК**, Цикл измерения длится около 240 с (до звукового сигнала). Повторите измерения фона не менее 5 раз, найдите среднее значение и умножьте его на 10.

- Вылейте воду из кюветы, просушите ее и заполните исследуемым водным раствором до той же метки.

Вновь установите прибор на кювету, нажмите кнопку **ВКЛ** и установите режим $\text{Бк/г} \times 10$. Произведите 5 измерений аналогично измерениям фона. Вычтите из найденного среднего значения, умноженного на 10, среднее значение фона. Результат получается в Бк/г . Его нужно умножить на 1000, чтобы получить значение активности в Бк/кг .

Снимите прибор с кюветы, установите крышку-фильтр на прежнее место.

3.6 Выключение прибора

Нажмите кнопку **ВЫКЛ**.

С целью экономии элемента питания предусмотрено автоматическое отключение прибора, если с ним в течение определенного времени не производится никаких действий.

4 ДОЗИМЕТРЫ-РАДИОМЕТРЫ МКС-АТ6130 (МКС-АТ6130А, МКС-АТ6130В, МКС-АТ6130С, МКС-АТ6130Д)

4.1 Назначение

Приборы предназначены для измерения:

- мощности амбиентного эквивалента дозы рентгеновского и гамма-излучения;
- амбиентного эквивалента дозы рентгеновского и гамма-излучения;
- плотности потока бета-частиц, испускаемых с загрязненной поверхности (МКС-АТ6130);
- скорости счета импульсов от регистрируемых гамма- или рентгеновских квантов;
- оперативного поиска источников ионизирующих излучений и радиоактивных материалов.

4.2 Технические характеристики

<i>Диапазон измерения</i>	
мощности дозы ¹⁾	0,1 мкЗв/ч - 10 мЗв/ч
дозы ²⁾	0,1 мкЗв - 100 мЗв
плотности потока β-частиц (МКС-АТ6130)	10 - 10 ⁴ част./ (мин·см ²)
Энергия регистрируемого γ-излучения ³⁾	50 кэВ - 3 МэВ
Энергия регистрируемого β-излучения	300 кэВ - 3,5 МэВ
Время измерения естественного радиационного γ-фона (0,1 мкЗв/ч) при статистической погрешности ± 20 %	не более 300 с
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>	
для всех режимов	± 20 %
<i>Пределы дополнительной относительной погрешности измерения</i>	
при отклонении температуры от нормальной (20 ± 5 °С)	± 10 %
при изменении влажности от нормальной (30 - 80 %)	± 10 %
при изменении напряжения питания от 3,3 до 2 В	± 5 %
при воздействии вибраций в диапазоне частот 10 - 55 Гц	± 5 %
<i>Условия эксплуатации</i>	
температура окружающего воздуха ⁴⁾	от -20 до +55 °С
относительная влажность воздуха при температуре до 35 °С	не более 95 %
атмосферное давление	84 - 106,7 кПа
напряженность магнитного поля	до 400 А/м
Питание ⁵⁾ (элемент, аккумулятор)	2 x тип ААА

Примечания:

- 1) от 0,1 мкЗв/ч до 100 мЗв/ч для МКС-АТ6130Д;
- 2) от 0,1 мкЗв до 1 Зв (МКС-АТ6130Д);
- 3) 50 кэВ - 3 МэВ (МКС-АТ6130);
- 4) от -40 до +55 °С МКС-АТ6130А (без индикации показаний);
- 5) тип АА для МКС-АТ6130С.

Приборы имеют звуковую и световую сигнализации о превышении измеряемой величины (мощности дозы, дозы или плотности потока бета-частиц) заранее заданного порогового значения.

Все приборы, за исключением МКС-АТ6130С обладают рядом сервисных возможностей:

- отображение серии последовательных измерений в виде диаграммы (гистограммы);
- запись и хранение результатов измерений в памяти прибора («записная книжка»);

Приборы МКС-АТ6130 и МКС-АТ6130В способны передавать измеренные данные в персональный компьютер через инфракрасный канал связи.

4.3 Устройство и органы управления

Действие прибора основано на обработке микропроцессором последовательности импульсов, генерируемых в газоразрядном счетчике Гейгера-Мюллера под воздействием регистрируемого излучения.

На передней панели приборов находятся:

табло жидкокристаллического индикатора (ЖКИ)



светодиодный индикатор

мембранная панель управления с четырьмя кнопками.



В процессе работы прибор может находиться либо в *режиме индикации измерений*, либо в *режиме меню*. Кнопки панели управления многофункциональны и имеют двойное обозначение.

Нажатие любой кнопки сопровождается звуковым сигналом (если включен звук) и вспышкой индикатора на передней панели прибора.

Кнопка	Функция	
	в режиме индикации измерений	в режиме меню
	команда «Запуск» на новое измерение	команда выполнить (аналог клавиши Enter в компьютере)
	команда «запомнить» текущий результат в памяти; нажатие и удержание (до смены изображения на ЖКИ) – переход в режим основного меню	команда «отмена» для выхода из режима основного меню в режим индикации измерений, или на предыдущий уровень меню (аналог клавиши Esc в компьютере)
	включение/выключение звукового излучателя	команда «вверх» для перемещения по экрану ЖКИ
	включение/выключение подсветки табло	команда «вниз» для перемещения по экрану ЖКИ

4.4 Включение прибора

Нажмите кнопку **ПУСК/ОТКЛ**, на экране появится надпись «Атомтех». После завершения самоконтроля (через 3-5 с) прибор переходит в режим постоянного измерения мощности дозы и дозы с индикацией значения мощности дозы в $\mu\text{Sv/h}$ (*мкЗв/ч*).

4.5 Меню прибора

Для перехода в режим меню нажмите и удерживайте кнопку **ПАМЯТЬ/РЕЖИМ**. На экране отражаются пункты основного меню, в каждом из которых может быть вызвано подменю. Перемещение по пунктам меню производится кнопками со стрелками, на выбранный пункт указывает мигающий указатель.

Для выхода из меню в режим индикации измерений кратковременно нажмите кнопку **ПАМЯТЬ/РЕЖИМ**.

Ниже представлена структура меню, отражающая все режимы работы приборов

МКС - АТ6130, МКС-АТ6130А, МКС-АТ6130В, МКС-АТ6130Д		для МКС-АТ 6130 - <i>с открытой крышкой-фильтром</i>	
MODE DOSE RATE DOSE SEARCH* BACKGROUND** MEASURE VIEW DIAGRAMS MEASURE VIEW	режим мощность дозы доза поиск* фон** измерение просмотр диаграммы измерение просмотр	MODE FLUX DENS SEARCH	режим плотность потока поиск
THRESHOLD DOSE RATE DOSE	порог мощность дозы доза	THRESHOLD	порог
NOTEBOOK READ UNDO CLEAR	записная книжка чтение отменить очистить	NOTEBOOK READ UNDO CLEAR	записная книжка чтение отменить очистить
SETTINGS TIME DATE IR PORT***	установки время дата ИК канал***	SETTINGS TIME DATE IR PORT	установки время дата ИК канал

Примечания:

* - кроме МКС-АТ6130

** - только для МКС-АТ6130

*** - только для МКС-АТ6130 и МКС-АТ6130В

МКС-АТ 6130С	
DOSE RATE DOSE SEARCH	мощность дозы доза поиск
THRESHOLD DOSE RATE DOSE	порог мощность дозы доза
NOTEBOOK READ CLEAR	записная книжка чтение очистить
SETTINGS TIME DATE	установки время дата

4.6 Порядок работы

4.6.1 Режим «Измерение мощности дозы»

Режим измерения мощности дозы включается автоматически (по умолчанию) при запуске прибора или через основное меню прибора выбором пунктов **MODE** → **DOSE RATE**.

Включите прибор и подождите, пока статистическая погрешность на табло не достигнет $\pm 15\%$.

Результат измерения запишите в виде

$$МД = МД_{изм} \pm \Delta,$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = \frac{МД_{изм} \cdot \theta}{100\%},$$

где θ – основная относительная погрешность, составляющая для данного прибора 20 %.

Если результат меньше нижнего предела измерений (0,10 мкЗв/ч), то его записывают в виде

$$МД = 0,10 \text{ мкЗв/ч.}$$

Для запуска нового цикла измерения нажмите кнопку **ПУСК/ОТКЛ**.

При большей статистической погрешности (но не более 30 %) выполняют измерения **не менее 3 раз**, и находят среднее значение МД.

4.6.2 Режим «Измерение дозы»

Прибор находится в режиме постоянного измерения дозы и мощности дозы. Можно через меню прибора переключать функцию измерения для режима индикации, но это никак не отразится на самих измерениях и их обработке. Режим индикации накопленной дозы включается через основное меню прибора: **MODE** → **DOSE**.

Можно сбросить и перезапустить заново режим накопления дозы, нажав кнопку **ПУСК/ОТКЛ**, что никак не повлияет на режим измерения мощности дозы.

4.6.3 Режим «Измерение плотности потока бета-частиц»
(только для прибора МКС-АТ6130)

На задней части прибора МКС-АТ6130 имеется откидывающаяся вниз крышка-фильтр. В закрытом ее положении

детектор излучения регистрирует гамма- и рентгеновские кванты. Для измерения плотности потока бета-частиц крышка-фильтр должна быть откинута.

Измерение плотности потока бета-частиц необходимо проводить только с вычитанием фона.

- **Измерение фона**

Запуск на измерение фона произведите через основное меню при закрытой крышке фильтра: **MODE** → **BACKGROUND** → **MEASURE**.

В режиме *измерения фона* на табло выводится текущее значение фона (s^{-1}) и соответствующее ему значение статистической погрешности (%). При достижении нужной статистической погрешности значение фона необходимо запомнить, нажав кнопку **ПАМЯТЬ/РЕЖИМ**. При этом на табло появляется индикация "ОК" (запись произошла). Запись можно повторять многократно в процессе измерения.

Можно перезапустить измерение фона сначала, нажав кнопку **ПУСК/ОТКЛ**.

Записанное в память значение фона хранится после выключения прибора. Его всегда можно посмотреть через основное меню: **MODE** → **BACKGROUND** → **VIEW**.

- **Основное измерение**

Режим *плотности потока* включается автоматически, если открыть крышку фильтра, а также через основное меню прибора (при открытой крышке фильтра): **MODE** → **FLUX DENS**.

Следует установить прибор с открытой крышкой таким образом, чтобы плоскость задней стенки прибора находилась на расстоянии 15 ± 3 мм от исследуемой поверхности.

В режиме индикации на табло выводится текущее значение плотности потока ($1/(min \cdot cm^2)$, $10/(min \cdot cm^2)$) и соответствующее ему значение статистической погрешности (%). Измеренный ранее фон вычитается автоматически.

При изменении радиационной обстановки прибор автоматически начинает новый цикл измерения плотности потока, сопровождая этот момент короткой звуковой и световой индикацией. Начать новый цикл измерения плотности потока можно также вручную, нажав кнопку **ПУСК/ОТКЛ**.

Перед запуском на измерение плотности потока следует убедиться, что ранее измеренный фон существенно не изменился. Если же условия измерения изменились (другое место, большой промежуток времени после предыдущего измерения), то необходимо провести новое измерение фона при закрытой крышке фильтра.

4.6.4 Режим «Порог»

В ходе работы с прибором для каждой измеряемой характеристики может быть установлен свой собственный порог, при превышении которого появляется мигающая индикация символа и соответствующая звуковая сигнализация:

- пять коротких звуков и пауза для мощности дозы;
- два коротких звука и пауза для дозы;
- пять коротких звуков и пауза для плотности потока.

При включении приборов автоматически устанавливаются следующие значения пороговых уровней:

- а) по мощности дозы – 30 мкЗв/ч;
- б) по дозе – 180 мкЗв;
- в) по плотности потока – 100 част./*(мин·см²)*.

Изменить значение порога можно кнопками ▲ и ▼ с последующим нажатием кнопки ПУСК/ОТКЛ.

4.6.5 Режим «Записная книжка»

Нажатием кнопки ПАМЯТЬ/РЕЖИМ результат любого измерения записывается в память в формате индикации, включая дату, время и текущий номер измерения. Эта информация не теряется при выключении прибора.

Записи в «записной книжке» можно просмотреть через основное меню: NOTEBOOK → READ.

Прибор переходит в режим чтения записей, начиная с последней. Кнопками ▲ и ▼ можно листать записи назад и вперед по циклу. Вернуться на уровень подменю NOTEBOOK можно кнопкой ПАМЯТЬ/РЕЖИМ.

4.7 Выключение прибора

Три раза быстро нажмите кнопку ПУСК/ОТКЛ (только из режима индикации измерений). При этом прибор индицирует "OFF" и, завершив все операции, через 1-2 с выключается.

5 ДОЗИМЕТРЫ-РАДИОМЕТРЫ МКС-АТ1125 (МКС-АТ1125А)

5.1 Назначение

Приборы предназначены для:

- контроля радиационной обстановки (измерение амбиентного эквивалента дозы и мощности амбиентного эквивалента дозы);
- измерения удельной активности (УА) радионуклида цезий-137 в продуктах питания и других пробах;
- экспресс-контроля загрязненности продуктов питания, воды, почвы гамма- и бета-излучающими радионуклидами;
- оперативного поиска источников ионизирующих излучений и радиоактивных материалов;
- контроля загрязненности поверхностей альфа и бета-излучающими радионуклидами (при наличии поставляемого по заказу блока детектирования БДПС-02 – торцевого счетчика Гейгера-Мюллера с тонким входным окном из слюды).

5.2 Технические характеристики

	МКС-АТ1125	МКС-АТ1125А	с ДПС-02
<i>Диапазоны измерения</i>			
мощности дозы	0,03 - 300 <i>мкЗв/ч</i>	0,03 - 100 <i>мЗв/ч</i>	0,1 мкЗв/ч - 30 мЗв/ч
дозы	10 нЗв - 10 мЗв	10 нЗв - 10 Зв	0,1 мкЗв - 1 Зв
УА с блоком защиты (БЗ)	20 - 10 ⁵ Бк/кг		
УА без БЗ (экспресс-контроль)	50 - 10 ⁵ Бк/кг		
скорость счета импульсов	1 - 10 ⁵ с ⁻¹		
плотность потока альфа-частиц			2,4 - 10 ⁶ <i>част./ (мин·см²)</i>
плотность потока бета-частиц			6 - 10 ⁶ <i>част./ (мин·см²)</i>
Энергия регистрируемого γ-излучения	50 кэВ - 3 МэВ		20 кэВ - 3 МэВ
Время измерения естественного радиационного γ-фона (0,1 мкЗв/ч) при статистической погрешности ± 20 %	не более 15 с		

<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>		
мощности дозы, дозы	$\pm 15 \%$	$\pm 20 \%$
удельной активности	$\pm 20 \%$	
скорости счета импульсов	не нормируется	
плотности потока альфа-частиц в диапазоне	2,4 - 30 <i>част./</i> (<i>мин·см²</i>)	$\pm 30 \%$
	30 - 10 ⁶ <i>част./</i> (<i>мин·см²</i>)	$\pm 20 \%$
плотности потока бета-частиц	$\pm 20 \%$	
<i>Пределы дополнительной относительной погрешности измерения</i>		
при отклонении температуры от нормальной (20 ± 5 °С)	$\pm 10 \%$	$\pm 20 \%$
при изменении влажности до 90 %	$\pm 10 \%$	
при изменении напряжения питания от 5,6 до 7,2 В	$\pm 5 \%$	
при изменении напряженности магнитного поля до 400 А/м	$\pm 10 \%$	
при воздействии вибраций в диапазоне частот 10 – 55 Гц	$\pm 5 \%$	
<i>Условия эксплуатации</i>		
температура окружающего воздуха	от -20 до +50 °С	
относительная влажность воздуха при температуре до +35 °С	не более 90 %	
атмосферное давление	84 - 106,7 кПа (630 до 800 мм рт. ст.)	
напряженность магнитного поля	до 400 А/м	
Питание (аккумуляторы)	5 x 6 В емкостью 1,2 А/ч	

Приборы имеют звуковую и световую сигнализации о превышении измеряемой величины (мощности дозы, дозы, плотности потока альфа- или бета-частиц, скорости счета и флюенса) заранее заданного порогового значения.

5.3 Устройство и органы управления

Действие прибора основано на обработке микропроцессором последовательности импульсов, генерируемых регистрируемыми излучениями в сцинтилляционном, или торцевом счетчике БДПС-02, или счетчике Гейгера-Мюллера СБМ-21 (в МКС-АТ1125А), в зависимости от выбранного режима работы.

Прибор МКС-АТ1125А кроме сцинтилляционного детектора содержит счетчик Гейгера-Мюллера СБМ-21, что значительно расширяет диапазон

измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (в сторону высоких значений).

Прибор состоит из блока обработки информации (БО) со съемной ручкой и (при наличии) блока детектирования (БДПС-02) с соединительным кабелем.



На передней панели расположены:

табло жидкокристаллического индикатора (ЖКИ)

мембранная панель управления с четырьмя кнопками.



Кнопка	Функциональное назначение кнопок в режиме	
	индикации измерений	меню
	команда «Запуск» на новое измерение	команда выполнить (аналог клавиши Enter в компьютере)
	команда «запомнить» текущий результат в памяти; нажатие и удержание (до смены изображения на ЖКИ) – переход в режим основного меню	команда «отмена» для выхода из режима основного меню в режим индикации измерений, или на предыдущий уровень меню (аналог клавиши Esc в компьютере)
	включение/выключение звукового излучателя	команда «вверх» для перемещения по экрану ЖКИ
	включение/выключение подсветки табло	команда «вниз» для перемещения по экрану ЖКИ

5.4 Включение и самоконтроль прибора

Нажмите кнопку ПУСК.

В режим самоконтроля прибор переходит сразу же после включения питания. При этом на короткое время включается звуковой сигнал.

В случае успешного завершения самоконтроля на табло в течение короткого времени индицируется обозначение режима «F1» или «F2», установленного при предыдущем включении прибора. После исчезновения индикации прибор переходит в подрежим 1 этого режима, при этом индикация подрежима отсутствует.

На табло индицируются: значение измеряемой величины, единица ее измерения, значение статистической погрешности в процентах (может отсутствовать), символ « \blacktriangleleft », указывающий на включение звуковой сигнализации; а также символ «Т», мигающий в такт с циклом измерения 2 с и свидетельствующий о работе прибора.

Примерно через 20 с начинается измерение мощности дозы в « nSv/h » (*нЗв/ч*), если был выбран режим F1, или измерение УА в « Bq/kg » (*Бк/кг*) – для F2.

5.5 Режимы и подрежимы работы прибора

Прибор имеет два основных режима работы:

- F1 – режим дозиметра (измерение мощности дозы и дозы гамма-излучения);
- F2 – режим радиометра – измерение УА, а с БДПС-02 – измерение плотности потока альфа- и бета-излучения.

Для перехода из подрежима 1 в другие подрежимы длительно нажмите кнопку ПАМЯТЬ/РЕЖИМ – на табло появится индикация подрежима «2». Для перехода в другие подрежимы кратковременно нажимайте на кнопку ПАМЯТЬ/РЕЖИМ (или \blacktriangle , \blacktriangledown). Примерно через 1,5 с после появления на табло номера нужного подрежима прибор начнет в нем работать.

Для переключения режимов F1, F2 установите подрежим «7». После соответствующей индикации установите кнопками \blacktriangle или \blacktriangledown нужный режим и, нажав длительно на кнопку

ПАМЯТЬ/РЕЖИМ, перейдите в подрежим «1» вновь установленного режима.

Ниже представлены все подрежимы работы прибора.

№№ подрежима	Назначение подрежима в режиме			
	F1		F2	
	Прибор	Прибор с БДПС-02	Измерение с БЗ (индикация «CL»)	Экспресс-контроль (индикация «OP»)
1	измерение МД	измерение плотности потока	измерение УА, ввод значения массы	
		альфа-излучения		
2	измерение дозы	измерение флюенса	измерение фона с пустым сосудом Маринелли	
		альфа-излучения		
3	поиск		измерение фона с сосудом, наполненным водой	
4	измерение средней скорости счета		-	
5	записная книжка (режим «ЗК»)			
6	сервисный			
7	переключение режима работы из F1 в F2		переключение режима работы из F2 в F1	

5.6 Порядок работы в режиме дозиметра (F1)

5.6.1 Подрежим «Измерение мощности дозы»

Включите прибор и дождитесь, пока статистическая погрешность на табло не достигнет $\pm 15\%$. Для записи результата в $мкЗв/ч$ разделите показания прибора на 1000 и запишите значение в журнал в виде

$$МД = МД_{изм} \pm \Delta,$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = \frac{МД_{изм} \cdot \theta}{100\%},$$

где θ – основная относительная погрешность, составляющая для данного прибора 15% (или с БДПС-02 – 20%).

Если результат меньше нижнего предела измерений, то его записывают в виде

$$МД = 0,03 \text{ мкЗв/ч (для МСК-АТ1125, МКС-АТ1125А);}$$

$MД = 0,10 \text{ мкЗв/ч}$ (для прибора с БДПС-02).

Для запуска нового цикла измерения нажмите кнопку **ПУСК/ОТКЛ.**

При большей статистической погрешности прибора (но не более 30 %), выполняют измерения **не менее 3 раз**, а результатом измерения является среднее значение МД.

При кратковременном нажатии кнопки **ПАМЯТЬ/РЕЖИМ** отображаемое на табло значение МД записывается в память прибора («записную книжку»).

5.6.2 Подрежим «Измерение дозы»

Для измерения дозы установите подрежим «2», при этом появляется индикация накопленной дозы и ее единица измерения.

В процессе измерения мощности дозы автоматически измеряется и доза. Поэтому при переходе в режим измерения дозы на табло индицируется значение, накопленное с момента включения прибора.

Для запуска нового цикла измерения временно нажмите кнопку **ПУСК**.

5.6.3 Подрежим «Поиск»

Установите подрежим «3», на табло появится символ «!», показания мощности дозы, индикация единицы измерения и мигающая индикация «←».

За точку начала поиска принимается значение усредненного количества импульсов, которое записывается в приборе при нажатии кнопки **ПУСК**. Далее значения мощности дозы выводятся без усреднения, каждую секунду результат обновляется. В нижней части табло отображается величина «К», представляющая собой отклонение текущего числа импульсов от начального усредненного. При приближении в процессе поиска к радиоактивному источнику величина «К» возрастает и появляется звуковая сигнализация.

Для продолжения (уточнения) поиска нажмите на кнопку **ПУСК**. При этом за точку начала поиска принимается новое значение усредненного количества импульсов, частота звуковых сигналов и значение «К» возвращаются к первоначальным.

При удалении от источника значение «К» уменьшается и после перехода через нуль становится со знаком минус.

5.6.4 Подрежим «Измерение средней скорости счета»

Установите прибор в подрежим «4». При этом на табло выводятся среднее значение скорости счета, соответствующее ей значение статистической погрешности и единица измерения «s⁻¹» (с⁻¹).

Для запуска нового цикла измерения кратковременно нажмите кнопку ПУСК.

5.6.5 Пороговые значения

При превышении порога измеряемой величины срабатывает звуковая сигнализация, имеющая разный вид:

- по МД, плотности потока – длинный гудок – длинная пауза;
- по дозе, флюенсу – три коротких гудка – длинная пауза;
- по скорости счета – короткие «щелчки», интенсивность которых пропорциональна скорости счета.

При включении прибора автоматически устанавливаются следующие значения порогов:

- а) по мощности дозы – 29 мкЗв/ч;
- б) по дозе – 180 мкЗв;
- в) по плотности потока альфа-частиц – 20 мин⁻¹·см⁻² (с БДПС-02);
- г) по плотности потока бета-частиц – 400 мин⁻¹·см⁻² (с БДПС-02);
- д) по флюенсу – 2,99·10⁶ см⁻² (с БДПС-02);
- е) по скорости счета – 10⁵ см⁻¹.

Значения порогов можно изменить, нажав и удерживая кнопку ▲. После появления двойного звукового сигнала нужное значение порога можно установить кратковременными нажатиями кнопок ▲ и ▼. Если их перестать нажимать, через 1,5 с прибор вернется в режим измерения.

5.7 Порядок работы в режиме радиометра (F2)

Измерение УА может проводиться с блоком защиты (БЗ) и без БЗ (экспресс-контроль), при этом на табло высвечивается «СЛ» или «ОР» соответственно. Выбор нужного варианта проводится в подрежиме 6 кнопками ▲ или ▼.

Фон измеряется не перед каждым измерением УА, а перед проведением серии измерений УА при изменении условий работы (места расположения, уровня внешнего гамма-фона и т.д.).

При внешнем фоне гамма-излучения не более $0,2 \text{ мкЗв/ч}$ измеренное значение фона не должно превышать 6 с^{-1} . Если измеренное значение выше, то измерение следует повторить.

5.7.1 Подрежим «Измерение фона с пустым сосудом»

Установите в БЗ штатный сосуд, плотно закройте крышку.

Установите подрежим измерения фона «2», после исчезновения индикации появится значение ранее измеренного фона. Если это значение устраивает, то перейдите к измерению УА, если нет – проведите новое измерение, нажмите кнопку ПУСК, при этом появится индикация «0», что свидетельствует об измерении фона с пустым сосудом.

При достижении нужного значения статистической погрешности кратковременно нажмите кнопку ПУСК – появится мигающая индикация «М». Значение фона запишите в память прибора, кратковременно нажав на кнопку ПАМЯТЬ/РЕЖИМ.

5.7.2 Подрежим «Измерение фона с сосудом, заполненным водой»

Установите в БЗ штатный сосуд, заполненный водой, плотно закройте крышку.

Установите подрежим измерения фона «3», после исчезновения индикации появится значение ранее измеренного фона. Если это значение устраивает, то перейдите к измерению УА, если нет – проведите новое измерение, нажав кнопку ПУСК, при этом появится индикация «500», что свидетельствует об измерении фона с сосудом, заполненным водой.

Последующие действия проведите аналогично пункту 5.7.1.

5.7.3 Подрежим «Измерение удельной активности»

• Измерение удельной активности с БЗ

Установите режим работы с БЗ (индикация «CL»).

Установите штатный сосуд с пробой в БЗ, предварительно взвесив пробу. Плотно закройте крышку.

Установите подрежим «1» – появится индикация «0, Bq/kg».

Чтобы ввести значение массы пробы, нажмите на кнопку ПУСК и кнопку ▲ (для увеличения значения) или ▼ (для уменьшения значения).

Запустите измерение УА, нажав кнопку ПУСК.

- *Измерение удельной активности без БЗ (экспресс-контроль)*

Установите режим работы без БЗ (индикация «ОР»).

Укрепите прибор на подставке и установите штатный сосуд на прибор. Измерьте фон, как было описано ранее в подрежиме 2 или 3.

Установите штатный сосуд с пробой на прибор и проведите измерение УА по ранее описанной методике.

5.8 Работа прибора с БДПС-02

При подключении к прибору блока детектирования БДПС-02 выбор необходимого режима измерения (α , β или γ) осуществите в сервисном подрежиме «6».

После выключения прибора (или отключения от прибора БДПС-02) последний режим измерения запоминается. При следующем включении прибора этот режим установится автоматически.

5.8.1 Подрежим «Работа с вычитанием фона»

При включении прибора с БДПС-02 автоматически устанавливается режим без вычитания фона.

Осуществите переход в режим вычитания фона, нажав кнопку **ПУСК** примерно на 1,5 с. Последующее нажатие на эту кнопку возвращает прибор в исходное состояние.

В режиме с вычитанием фона первоначально измерьте фон и при достижении необходимой статистической погрешности остановите измерение, нажав на 1,5 с кнопку **ПУСК**, при этом на табло появится индикация «*». Измеренное значение запоминается нажатием кнопки **ПАМЯТЬ/РЕЖИМ**.

Для запуска нового цикла измерения кратковременно нажмите кнопку **ПУСК**, при этом появится мигающая индикация «*».

Фон можно и не измерять, а воспользоваться измеренным ранее значением, если оно было получено в тех же условиях. При этом из процесса перехода в режим вычитания фона необходимо исключить операцию набора и запоминания фона.

5.8.2 Подрежим «Измерение плотности потока альфа- и бета-излучения»

Измерение плотности потока альфа- и бета-излучения необходимо проводить только с вычитанием фона.

В подрежиме «6» выберите режим измерения « α » или « β ». Установите подрежим «1» - измерения плотности потока.

- *Измерение плотности потока альфа-частиц*

Снимите с БДПС-02 крышку-фильтр и установите альфа-фильтр, закрепив его держателем. Установите БДПС-02 на обследуемую поверхность, измерьте и запишите значение фона.

Снимите альфа-фильтр и установите БДПС-02 на обследуемую поверхность. Нажмите кнопку ПУСК. При достижении необходимой статистической погрешности запишите результат измерения в журнал.

- *Измерение плотности потока бета-частиц*

БДПС-02 с закрытой крышкой-фильтром установите на обследуемую поверхность, измерьте и запишите значение фона.

Снимите крышку-фильтр, установите альфа-фильтр и закрепите его держателем. Установите БДПС-02 на обследуемую поверхность, нажмите кнопку ПУСК. При достижении необходимой статистической погрешности запишите результат измерения в журнал.

5.9 Работа в режиме «Записная книжка»

Для чтения результатов измерения из «записной книжки» переведите прибор в режим «ЗК», т.е. до появления индикации «5». После исчезновения индикации «5» на табло должна появиться индикация «М», последнее записанное значение измеренной характеристики и строкой ниже – порядковый номер последней записи.

При кратковременном нажатии кнопки ПАМЯТЬ/РЕЖИМ происходит переход к началу «записной книжки».

Стереть все записи в «записной книжке» можно длительно, до появления двойного звукового сигнала, нажав кнопку ПУСК, что сопровождается мигающей индикацией цифр «000 00». Повторное нажатие кнопки ПУСК отменяет стирание.

Кнопками ▲ и ▼ можно листать записи назад и вперед по циклу. Чтобы вернуться в режим измерения измеряемой

характеристики нажмите и удерживайте кнопку **ПАМЯТЬ/РЕЖИМ** до появления двойного звукового сигнала и индикации «1».

5.10 Выключение прибора

Три раза нажмите кнопку **ПУСК**. На табло появится сообщение «**OFF**» и через 1-2 с прибор выключится.

6 ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР МКС-01М «СОВЕТНИК»

6.1 Назначение

Прибор предназначен для измерения:

- удельной активности цезия-137 без отбора проб, т. е. на месте расположения объекта (in situ) в мышечной ткани животных, в тушах, в продукции и сырье;
- удельной активности (УА) счетных образцов (проб) без применения и с применением защиты;
- мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения;
- скорости счета в энергетических окнах гамма-излучения цезия-137 и калия-40.

6.2 Технические характеристики

<i>Диапазон измерения</i>	
мощности дозы гамма-излучения	0,05 - 1,0 мкЗв/ч
УА в мышечной ткани	40 - 4000 Бк/кг
УА в пробе 1 л без защиты	40 - 10000 Бк/кг
УА в пробе 1 л с защитой	5 - 10000 Бк/кг
Энергия регистрируемого γ -излучения	50 кэВ - 1,5 МэВ
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>	
мощности дозы гамма-излучения	$\pm 40\%$
УА в мышечной ткани	
в диапазоне от 40 до 80 Бк/кг	$\pm 45\%$
в диапазоне от 80 до 4000 Бк/кг	$\pm 28\%$
УА в пробе 1 л без защиты	$\pm 22\%$
УА в пробе 1 л с защитой	
в диапазоне от 5 до 20 Бк/кг	$\pm 45\%$
в диапазоне от 20 до 40 Бк/кг	$\pm 28\%$
в диапазоне от 40 до 10000 Бк/кг	$\pm 22\%$
<i>Условия эксплуатации</i>	
температура окружающего воздуха	от -10 до +40 °С
относительная влажность воздуха при температуре до +35 °С	не более 90 %
Питание (элемент, аккумулятор)	2 x тип АА (или А)

6.3 Устройство и органы управления

Действие прибора основано на обработке микропроцессором последовательности импульсов, генерируемых под воздействием регистрируемого излучения в сцинтилляционном детекторе с

кристаллом большого объема (\varnothing 63x63 мм). Прибор состоит из блока детектирования (БД) и блока регистрации (БР).

Отличия в конструкции прибора (для различных исполнений) заключаются в типе применяемого сцинтилляционного детектора, способе соединения БД с БР и источнике питания. В состав радиометра также входят соединительный кабель и сосуд Маринелли объемом 1 л.



На передней панели БР расположены:

табло жидкокристаллического индикатора (ЖКИ)

мембранная панель управления с кнопками управления прибором и ввода числовых параметров измерений.



Кнопка	Наименование и функциональное назначение
	Курсор (направление перемещения) – перебор вариантов
ENTER (ВВОД, СТАРТ)	ДА – подтверждение выбора отображаемого на экране пункта меню, режима работы или числа
ESC (STOP, СТОП)	НЕТ – возврат к предыдущему пункту меню или досрочная остановка выполняемого измерения
F	Вкл/Выкл – включение/выключение прибора при длительном нажатии, либо подсветки дисплея при кратковременном нажатии
1, 2, ... 9, 0	ввод разряда числа
. (.)	ввод точки (запятой) десятичной дроби

6.4 Включение прибора

Включите прибор, нажав кнопку **F**, и удерживайте ее в нажатом положении в течение нескольких секунд. Отпустите кнопку после появления на дисплее БР надписи: «Инициализация...».

На завершающей стадии инициализации на дисплее выводится сообщение об установленной версии программного обеспечения.

6.5 Меню прибора

Пункты меню выводятся на дисплей последовательно один за другим. Для вызова очередного пункта следует нажать любую из кнопок курсора.

Пункт главного меню	Решаемая задача (режим)
НА МЕСТЕ	<p>Измерения без отбора пробы на месте расположения объекта (измерения <i>in situ</i>) в случаях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ – измерение УА цезия-137 в мышечной ткани • БИДОН – измерение УА цезия-137 в веществе (плотность $\rho \approx 1 \text{ кг/дм}^3$; масса не менее 50 кг), помещенном в пластмассовый бидон с диаметром от 37 см до 45 см • ОБЪЕКТ 10 Л – измерение УА цезия-137 без отбора пробы в веществе с плотностью от 0,1 до 1,2 кг/дм³ и объемом 10 л, помещенном в пластмассовое ведро • КРУПНЫЙ ОБЪЕКТ – измерение УА цезия-137 без отбора пробы в веществе с плотностью от 0,1 до 1,2 кг/дм³, образующем протяженный объект • режим измерений ПЛОТН. ЗАГР. ПОЧВЫ – измерение плотности загрязнения почвы цезием-137
ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКА	<ul style="list-style-type: none"> • Измерение скорости счета в «энергетических окнах», соответствующих излучению радионуклидов цезий-137 и калий-40 • Измерение имитанта при периодической проверке прибора. Определение однородности партии продукции по распределению цезия-137
ИЗМЕРЕНИЕ ПРОБ	<ul style="list-style-type: none"> • В ЗАЩИТЕ – измерения УА цезия-137 в пробах вещества (счетных образцах) с плотностью от 0,1 до 2 кг/дм³, выполняемые с применением пассивной защиты БД (объем пробы – 0,1 л; 0,3; 0,5 и 1 л) • БЕЗ ЗАЩИТЫ – измерение УА цезия-137 в пробах вещества (счетных образцах) с плотностью от 0,1 до 2 кг/дм³ без применения пассивной защиты БД (объем пробы в сосуде Маринелли – 0,5 либо 1 л)
ИЗМЕРЕНИЕ ДОЗЫ	<ul style="list-style-type: none"> • Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения • Определение однородности партии продукции по распределению цезия-137
СЛУЖЕБНЫЙ	<p>Режим калибровки энергетической шкалы «Проверка К-40», а также служебные режимы работы, предоставляемые пользователю на основании отдельных договоров</p>

6.6 Порядок работы

6.6.1 Режим «Мышечная ткань»

Выберите в главном программном меню режим работы «**НА МЕСТЕ**» и нажмите кнопку **ДА** – программа микропроцессора прибора перейдет к меню выбора объекта измерений, а на дисплее отобразится сообщение: «**МЫШЕЧНАЯ ТКАНЬ**».

После нажатия кнопки **ДА** на экране появится для выбора режим измерений **УА** цезия-137: в мышечной ткани животных, в тушах и в полутушах, и указанное значение нижнего предела диапазона измерений (далее – **НП**). Для подтверждения применимости «**НП = 80 Бк/кг**» следует нажать кнопку **ДА**.

• *Измерение фона*

Прибор разместите на расстоянии 1,0-1,5 м до измеряемого объекта, направив БД в сторону объекта (либо места, на котором измеряемый объект будет размещен), и нажмите кнопку **ДА**. Время измерения фона определяется в соответствии с алгоритмом работы программного обеспечения в автоматическом режиме.

В целях оптимизации времени контроля животных (туш, полутуш) для проведения измерений рекомендуется выбрать контрольную площадку (эстакаду, раскол, загон, стойло и т.д.), на которой величина мощности дозы гамма-излучения будет не более 0,12 мкЗв/ч.

После начала измерения фона на дисплее отображается периодически обновляемое сообщение, где:

- первая строка информирует о выполняемой операции;
- вторая строка – о текущем измеренном значении скорости счета фона гамма-излучения и достигнутой на данный момент относительной неопределенности измерения;
- третья строка – о времени в секундах, оставшемся до завершения измерения фона.

При успешном завершении измерения фона на дисплее появится сопровождаемое серией звуковых сигналов измеренное фоновое значение на данной контрольной площадке, которое при дальнейшем выполнении измерений учитывается автоматически.

• *Измерение удельной активности*

Ввод численного значения норматива осуществите с помощью цифровых кнопок клавиатуры. Для удаления ранее

заданного значения норматива используйте кнопку курсора ←. После ввода нужного значения норматива нажмите кнопку **ДА**.

Для подтверждения правильности, отображаемого на дисплее численного значения, нажмите кнопку **ДА** и выберите массу измеряемого объекта. Если масса измеряемого объекта (особи, туши или полутуши) более 100 кг, то нажмите кнопку **ДА**. Если масса объекта менее 100 кг, то нажмите любую кнопку курсора.

Выбрав необходимое значение массы измеряемого объекта, нажмите кнопку **ДА**.

В случае выбора объекта измерений с массой более 100 кг, выберите с помощью курсора условие измерения: «**Отдельная особь?**» – отдельно расположенная особь (туша, полутуша) или «**Плотный гурт?**» – особи расположенные вплотную друг к другу, после чего нажмите кнопку **ДА**.

Выберите с помощью курсора контрольную область на теле особи (поверхности туши, полутуши): «**Верх**» – контрольная область, расположенная в верхней части бедра или «**Низ**» – контрольная область, расположенная в боковой части бедра; после этого нажмите кнопку **ДА**.

Для измерения УА цезия-137 в мышечной ткани в ответ на программный запрос нажмите кнопку **ДА**.

После нажатия кнопки «**ДА**» не позже, чем в течение 4 с, плотно прислоните БД к измеряемому объекту в выбранной ранее контрольной области.

Время измерения определяется автоматически программой прибора.

В случае перехода к измерению следующего объекта в условиях, идентичных ранее выбранным, нажмите кнопку **ДА**.

Для задания иных условий измерений последовательно нажимайте кнопку **НЕТ** – каждое нажатие кнопки возвращает алгоритм программы к выполнению предыдущей операции.

6.6.2 Режим «Скорость счета»

Выберите в главном меню пункт «**ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКА**» и нажмите кнопку **ДА**. В ответ на запрос «**СКОРОСТЬ СЧЕТА**», отображаемый на дисплее БР, нажмите кнопку **ДА**.

На дисплее отобразится сообщение о вводе требуемого численного значения относительной статистической погрешности.

Введите его с помощью цифровых кнопок клавиатуры. Для удаления ранее заданного значения норматива используйте кнопку курсора \leftarrow . После ввода нужного значения нажмите кнопку ДА.

Установите прибор в пространстве необходимым образом и нажмите кнопку ДА.

В течение выполнения измерения на дисплее отобразится периодически обновляемое сообщение: первая и вторая строка информирует о времени измерения, далее отображаются наблюдаемое значение скорости счета и текущие пределы относительной статистической неопределенности измерения в энергетическом окне цезия-137 и калия-40.

Измерение прекращается автоматически по достижению установленного ранее значения относительной статистической погрешности. Сообщение на дисплее о завершении измерения сопровождается серией звуковых сигналов.

Для выполнения следующего измерения скорости счета нажмите кнопку ДА.

6.6.3 Режим «Измерение мощности дозы»

Выберите в главном меню пункт «ИЗМЕРЕНИЕ ДОЗЫ» и нажмите кнопку ДА.

В случае измерений мощности дозы без вычитания фонового уровня нажмите кнопку ДА.

Введите требуемое численное значение относительной статистической погрешности с помощью цифровых кнопок клавиатуры. Для удаления ранее заданного значения норматива используйте кнопку курсора \leftarrow . После ввода нужного значения нажмите кнопку ДА.

Установите прибор в пространстве в соответствии с требованиями, предъявляемыми предстоящим измерением, и нажмите кнопку ДА.

На дисплее отображается наблюдаемое значение мощности дозы и достигнутый на данный момент предел относительной статистической погрешности измерения. Измерение прекращается автоматически по достижению заданной относительной статистической погрешности. Результат измерения запишите в виде

$$МД = МД_{изм} \pm \Delta,$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = \frac{МД_{изм} \cdot \theta}{100\%},$$

где θ – основная относительная погрешность, составляющая для данного прибора 40 %.

Если результат меньше нижнего предела измерений (0,05 мкЗв/ч), то его записывают в виде

$$МД = 0,05 \text{ мкЗв/ч.}$$

Для запуска нового цикла измерения нажмите кнопку **ДА**.

Для ввода иного значения относительной статистической погрешности нажмите кнопку **НЕТ** и выполните операции аналогично описанным выше.

6.6.4 Режим «Доза – фон»

В данном режиме выполняется измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения с вычитанием фонового уровня.

Для вызова режима в ответ на программный запрос нажмите любую кнопку курсора. Расположите БД прибора в пространстве необходимым образом, и в ответ на программный запрос «**ДОЗА – ФОН**» нажмите кнопку **ДА**.

Измерение фона прекращается автоматически по достижению значения предела относительной статистической погрешности, равного 1 %.

6.7 Выключение прибора

Для выключения прибора нажмите кнопку **F**; на дисплее появится надпись: «**Выключение**». После этого отпустите кнопку – выключение прибора завершится автоматически.

III РАДИОМЕТРЫ И СПЕКТРОМЕТРЫ

1 ГАММА-РАДИОМЕТР РУГ-91

1.1 Назначение

Радиометр предназначен для измерения объемной (ОА) и удельной (УА) активности гамма-излучающих радионуклидов в пробах пищевых продуктов и природной среды.

1.2 Технические характеристики

<i>Диапазоны измерения</i>		
ОА (УА) радионуклидов Cs, Бк/л (Бк/кг)	18 - 5 000	60 - 50 000
ОА (УА) радионуклидов K, Бк/л (Бк/кг)	200 - 50 000	500 - 50 000
Время измерения	20 мин	2 мин
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>		
ОА (УА) радионуклидов Cs		
в диапазоне 18 - 30 Бк/л	± 50 %	
30 - 100 Бк/л	± 30 %	
100 - 1000 Бк/л	± 10 %	
1000 - 5 000 Бк/л	± 5 %	
60 - 100 Бк/л		± 50 %
100 - 600 Бк/л		± 30 %
600 - 10 000 Бк/л		± 10 %
10 000 - 50 000 Бк/л		± 5 %
ОА (УА) радионуклида K	± 50 %	
<i>Пределы дополнительной относительной погрешности измерения</i>		
при наличии радионуклида ⁴⁰ K	± 2 %	
при отклонении температуры	± 1 %	
при отклонении напряженности магнитного поля	± 25 %	
при изменении внешнего фона гамма-излучения	± 25 %	
<i>Условия эксплуатации</i>		
температура окружающего воздуха	от +10 до +35 °С	
относительная влажность воздуха при температуре до +30 °С	до 75 %	
атмосферное давление	84 - 106,7 кПа (630 до 800 мм рт. ст.)	
напряженность магнитного поля	400 А/м	
внешний фон гамма-излучения	0,5 мкЗв/ч	
Время установления рабочего режима	30 мин	
Питание (от сети)	220 В	

1.3 Устройство и органы управления

Прибор состоит из совмещенных блока защиты (БЗ), блока обработки информации (БО) и сцинтилляционного блока детектирования (БД). В состав радиометра также входит сосуд 0,5 л.



Работа прибора, как и всех остальных описываемых в книге радиометров, основана на сцинтилляционном методе регистрации излучений. Показания прибора формируются на основании подсчета импульсов детектора за интервал времени, который необходим для достижения заданной статистической погрешности. Электронная часть современных радиометров базируется на микропроцессоре.



На передней панели БО расположены:

табло жидкокристаллического индикатора

кнопка **СЕТЬ** - включение и отключение питания

кнопка **СБРОС** - сброс значений

кнопка **ФОН** - режим измерения фона

кнопка **ПРОБА** - режим измерения активности пробы

кнопка **2 МИН** и кнопка **20 МИН** - для установки времени измерения

кнопка **ЦЕЗИЙ-137** и кнопка **КАЛИЙ-40** - для выбора измеряемого радионуклида.

Каждая кнопка имеет свою светодиодную индикацию.

1.4 Включение прибора

Включите прибор в сеть и нажмите кнопку **СЕТЬ**. Звуковой сигнал и индикация на цифровом табло «0000» означают готовность прибора к работе.

По включению питания автоматически устанавливается режим измерения ОА **ЦЕЗИЙ-137**.

Измерения ОА калия-40 (и соответствующего значения фона) производятся после нажатия кнопки **КАЛИЙ-40**.

1.5 Порядок работы

1.5.1 Измерение фона

Установите в блок защиты сосуд (0,5 л), наполненный дистиллированной водой, закройте крышку и нажмите кнопку **ФОН**.

Если исследуемый образец имеет плотность, заметно отличающуюся от единицы (сухие легкие образцы типа чая, сухих трав и т.п.), измерение фона следует проводить с пустой кюветой.

Нажмите кнопку времени измерения **20 МИН** (рекомендуется) или **2 МИН**, при этом на табло отображается обратный отсчет времени. Окончание измерения подтверждается звуковым сигналом. По окончании измерения фона нажмите кнопку **КАЛИЙ-40** либо **ЦЕЗИЙ-137**. На табло отображается результат в единицах скорости счета (1/с), который заносится в память прибора.

Значение фона сохраняется в памяти прибора и при его выключении кнопкой **СЕТЬ**, если сетевая вилка прибора не извлекалась из розетки. При повторном включении прибора о наличии в его памяти значения фона свидетельствует свечение индикатора над кнопкой **СБРОС**. После нажатия этой кнопки необходимо повторное измерение фона.

1.5.2 Измерение объемной активности пробы

Установите кювету с исследуемой пробой внутрь блока защиты. Закройте крышку, нажмите кнопку **ПРОБА** и кнопку времени измерения **20 МИН** (для малых активностей) или **2 МИН**. На табло отображается обратный отсчет времени. Окончание измерения подтверждается звуковым сигналом и индикацией

результата измерения в $кБк/л$ на табло. После завершения измерения нажмите кнопку **ЦЕЗИЙ-137** или **КАЛИЙ-40**. Значение объемной активности необходимо умножить на 1000 и результат в $Бк/л$ записать в журнал.

Если количества пробы недостаточно для проведения точных измерений, то результат измерения нужно умножить на поправочный коэффициент для данного объема: 400 $мл$ – 1,2; 300 $мл$ – 1,5; 200 $мл$ – 2,2.

Результат измерения запишите в рабочий журнал в виде

$$OA = OA_{изм} \pm \Delta,$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = OA_{изм} \cdot \theta / 100 \%,$$

где θ – основная относительная погрешность измерения, в зависимости от времени и диапазона измерения, в которое входит полученное значение.

Для значений OA , которые меньше нижней границы диапазона измерения A_{min} (эти значения указаны в таблице технических характеристик), погрешность измерения не регламентируется. В этом случае результат измерения должен быть представлен в виде

$$OA_{изм} < A_{min}.$$

1.5.3 Пересчет объемной активности пробы в удельную

Если плотность пробы близка к плотности воды (1 $кг/л$), то значение UA совпадает со значением OA . В остальных случаях нужно определить плотность пробы по формуле:

$$\rho = m / V,$$

где m – масса пробы ($кг$), которую определяют на весах с погрешностью не более $\pm 2 \%$,

V – объем пробы ($л$), занимаемый в штатном сосуде.

Удельную активность найдите по формуле:

$$UA = OA / \rho.$$

Результат измерения запишите в рабочий журнал аналогично п. 1.5.2.

Если полученное значение ОА меньше нижней границы диапазона измерения A_{\min} , то при плотности исследуемой пробы 1 кг/дм^3 величина A_{\min} для УА равна начальному значению диапазона измерения активности, приведенному в таблице технических характеристик.

При плотности исследуемой пробы отличной от 1 кг/дм^3 в интервале плотностей от 0,1 до $1,7 \text{ кг/дм}^3$ оценка A_{\min} для измеренной УА находится по формуле:

$$A_{\min} = \text{НГДИ} / \rho.$$

где НГДИ – нижняя граница диапазона измерения, *Бк/л*.

Если для объекта радиационного контроля установлен предельно допустимый уровень содержания радионуклидов (норматив) – N , то объект признается соответствующим нормативным требованиям при выполнении соотношения

$$A_{\text{изм}} + \Delta < N.$$

1.6 Выключение прибора

Нажмите кнопку **СЕТЬ** и отключите прибор от сети.

2 РАДИОМЕТРЫ РУГ-92 (РУГ-92М, РУГ-92М-01)

2.1 Назначение

Радиометры предназначены для измерения объемной и удельной активности проб продуктов питания, продукции растениеводства и животноводства, загрязненных радионуклидами цезия.

2.2 Технические характеристики

	РУГ-92	РУГ-92М	РУГ-92М-01
<i>Диапазоны измерения</i>			
ОА (УА) радионуклидов Cs, Бк/л (Бк/кг) в сосуде объемом 1,0 л 0,5 л 0,25 л	18 - 37 000	11 - 37 000	7 - 37 000
		30 - 37 000	
		100 - 37 000	
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>			
ОА (УА) радионуклидов Cs, Бк/л (Бк/кг) в сосуде объемом 1,0 л в диапазоне 7 (11) - 49 Бк/л 50 - 37 000 Бк/л	± 35 %	± 50 %	
		± 25 %	
в сосуде объемом 0,5 л в диапазоне 30 - 99 Бк/л 100 - 37 000 Бк/л		± 35 %	
		± 25 %	
в сосуде объемом 0,25 л в диапазоне 100 - 199 Бк/л 100 - 37 000 Бк/л		± 35 %	
		± 25 %	
<i>Пределы дополнительной относительной погрешности измерения</i>			
ОА (УА) в диапазоне плотностей от 0,1 до 1,7 кг/дм ³	± 15 %	± 10 %	
<i>Условия эксплуатации</i>			
температура окружающего воздуха	от +10 до +35 °С		
относительная влажность воздуха при температуре до +30 °С	до 90 %		
атмосферное давление	84 - 106,7 кПа (630 до 800 мм рт. ст.)		
напряженность магнитного поля	400 А/м		
внешний фон гамма-излучения	0,2 мкЗв/ч		
Время установления рабочего режима	3 мин	10 мин	
Питание (от сети)	220 В		

2.3 Устройство и органы управления

Прибор состоит из конструктивно объединенных блока защиты (БЗ), сцинтилляционного блока детектирования (БД), аналогового блока, а также блока обработки информации (БО). В состав радиометра также входят соединительный кабель, сосуд Маринелли 1,0 л и плоский сосуд 0,25 л.




На передней панели БО расположены:





четырёхразрядный цифровой индикатор с плавающей запятой

кнопка **ФОН** - измерение фона

кнопки выбора типа измерительной кюветы:

 - сосуд Маринелли 1,0 л

 - сосуд 0,5 л

 - плоский сосуд 0,25 л

кнопка **ДП*** – выбора времени измерения

кнопка **ИЗМ** – измерение активности.

Каждая кнопка имеет свою светодиодную индикацию.

*Примечания:

1) для **РУГ-92** нажатая кнопка **ДП** и горящий над ней светодиод соответствуют установке времени измерения 600 с; повторное нажатие на кнопку **ДП** приводит к включению времени измерения 60 с;


2) для РУГ-92М нажатая кнопка ДП и горящий над ней светодиод соответствуют установке времени измерения 1200 с; повторное нажатие на кнопку ДП приводит к включению времени измерения 600 с;

3) для РУГ-92М-01 при нажатии кнопки ДП на табло высвечивается одно из чисел: «01», которое соответствует установке времени измерения фона 10 мин (600 с) и активности пробы 1 мин (60 с); «10» – 10 мин (600 с) измерения фона и активности; «40» – 40 мин (2400 с) измерения фона и активности.

2.4 Включение и проверка работоспособности

Включите радиометр сетевым тумблером, расположенным на передней панели аналогового блока. На информационном табло высвечиваются четыре запятые, над тумблером должен загореться светодиод.

В случае исправности прибора раздается звуковой сигнал и на цифровом табло высвечивается код исправности «00 СС», означающий готовность к работе.

По окончании самопроверки прибора автоматически выбирается измерительная кювета  – полный сосуд Маринелли объемом 1 л, загорается светодиод на соответствующей кнопке, на табло индикатора появляются мигающие нули «0000» и раздается звуковой сигнал.

2.5 Порядок работы

2.5.1 Измерение фона

Уровень собственного фона прибора не должен превышать 6 *имп/сек*.

Для каждого типа кюветы должно производиться свое измерение фона. Переключите прибор на нужный тип кюветы, нажав на соответствующую кнопку на пульте управления – над ней загорится светодиод.

После переключения типа кюветы на табло должны индицироваться мигающие нули (или значение фона для вновь выбранной кюветы, если фон был ранее измерен).

Установите в БЗ выбранную кювету. Закройте БЗ и нажмите кнопку ДП для установки времени измерения. Выбирать время измерения следует исходя из допустимого уровня активности пробы и допустимой погрешности измерения.

Нажмите кнопку **ФОН**, над ней загорится светодиод.

По истечении времени измерения (600 с для РУГ-92, 600 или 1200 с для РУГ-92М и 600 или 2400 с для РУГ-92М-01) раздастся звуковой сигнал, светодиод на кнопке **ФОН** начнет мигать, а на цифровом индикаторе высветится величина фона. Она не должна превышать 3,000 (что соответствует 3000 импульсов при нажатой кнопке **ДП**) или 0,300 когда режим **ДП** выключен.

При превышении величины фона на 10 % и более от результатов его предыдущих измерений необходимо произвести дезактивацию сосуда, колодца блока защиты и блока детектирования. Если эти действия не привели к результату, прибор подлежит регулировке и проверке.

Величина фона в относительных единицах высвечивается на цифровом табло и запоминается в памяти радиометра.

Значение фона запишите в рабочий журнал.

2.5.2 Измерение объёмной и удельной активности пробы

Выберите, нажав на соответствующие кнопки, тип кюветы и время измерения пробы.

Заполните кювету исследуемой пробой до нужной метки, поставьте её в БЗ, закройте крышку.

Нажмите кнопку **ИЗМ** (измерение), над ней загорится светодиод. По окончании измерения активности раздастся звуковой сигнал, светодиод над кнопкой **ИЗМ** начинает мигать, а на табло индицируется активность пробы в *кБк/л*. Значение активности умножьте на 1000 и результат в *Бк/л* запишите в журнал.

Если плотность пробы близка к плотности воды (1 *кг/л*), то значение УА совпадает со значением ОА.

Удельную активность (в *Бк/кг*) пробы, плотность которой существенно отличается от единицы, рассчитайте по одной из следующих формул:

$$\text{для кюветы } 1,0 \text{ л} - \text{УА} = \text{ОА} / m,$$

$$\text{для кюветы } 0,5 \text{ л} - \text{УА} = \text{ОА} / 2 \cdot m,$$

$$\text{для кюветы } 0,25 \text{ л} - \text{УА} = \text{ОА} / 4 \cdot m,$$

где *m* – масса пробы, *кг*;

или
$$\text{УА} = \text{ОА} / \rho,$$

где ρ – плотность пробы, $кг/л$, которая вычисляется как отношение массы пробы ($кг$) к ее объему ($л$), занимаемому в штатном сосуде.

Результат измерения запишите в рабочий журнал в виде

$$OA (YA) = OA_{изм} (YA_{изм}) \pm \Delta,$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = OA_{изм} (YA_{изм}) \cdot \theta / 100 \%$$

где θ – основная относительная погрешность измерения, в зависимости от типа используемого сосуда и диапазона измерения, в которое входит полученное значение.

Для значений $OA (YA)$, которые меньше нижней границы диапазона измерения, указанных в таблицах для радиометров с различными типами измерительных кювет, погрешность измерения не регламентируется.

Поэтому при получении в результате измерений активности – $OA (YA)$ меньше этой нижней границы результат измерения должен быть представлен в виде

$$A_{изм} < A_{min}.$$

При плотности исследуемой пробы $1 кг/дм^3$ величина A_{min} равна начальному значению диапазона измерения активности, приведенному в таблице технических характеристик.

При плотности исследуемой пробы отличной от $1 кг/дм^3$ в интервале плотностей от $0,1$ до $1,7 кг/дм^3$ оценка A_{min} для измеренной YA находится по формуле:

$$A_{min} = НГДИ / \rho.$$

где $НГДИ$ – нижняя граница диапазона измерения, $Бк/л$.

Когда для объекта радиационного контроля установлен предельно допустимый уровень содержания радионуклидов (норматив) – N , то объект признается соответствующим нормативным требованиям, если $A_{изм} + \Delta < N$.

2.6 Выключение прибора

Переведите тумблер в положение **ВЫКЛ** и отключите прибор от сети.

3 ГАММА-РАДИОМЕТР РУБ-01П6

3.1 Назначение

Гамма-радиометр РУБ-01П6 предназначен для измерения удельной (УА) и объемной (ОА) активности радионуклидов цезия и калия в пробах пищевых продуктов и природной среды.

3.2 Технические характеристики

<i>Диапазоны измерения</i>		
ОА (УА), Бк/л (Бк/кг) для измерительных сосудов номинальным объемом:		
пластмассовая чашка Петри (0,05 л)	260 - 1300	$1,3 \cdot 10^3 - 2,6 \cdot 10^6$
стеклянная чашка Петри (0,075 л)	190 - 950	$9,5 \cdot 10^2 - 1,9 \cdot 10^6$
чашка Denta (0,1 л)	180 - 900	$9,0 \cdot 10^2 - 1,8 \cdot 10^6$
гомельский сосуд Маринелли (0,5 л)	42 - 210	$2,1 \cdot 10^2 - 4,2 \cdot 10^5$
чашка для пробы из «кольца» (0,735 л)	42 - 210	$2,1 \cdot 10^2 - 4,2 \cdot 10^5$
гомельский сосуд Маринелли (1,0 л)	22 - 100	$1,1 \cdot 10^2 - 2,2 \cdot 10^5$
желтоводский сосуд Маринелли (1,0 л)	20 - 100	$1,0 \cdot 10^2 - 2,0 \cdot 10^5$
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>		
ОА (УА)	± 50 %	± 25 %
<i>Пределы дополнительной относительной погрешности измерения</i>		
при наличии ^{40}K до 1660 Бк/кг	± 20 %	
при отклонении температуры (на каждые 10 °С)	± 10 %	
при отклонении влажности воздуха	± 8 %	
при отклонении напряженности магнитного поля	± 12 %	
при нестабильности электропитания	± 8 %	
<i>Условия эксплуатации</i>		
температура окружающего воздуха	от +5 до +40 °С	
относительная влажность воздуха при температуре до +30 °С	до 75 %	
атмосферное давление	84 - 106,7 кПа (630 - 800 мм рт. ст.)	
напряженность магнитного поля	до 80 А/м	
Время установления рабочего режима	15 мин	
Время измерения пробы (max)	5 мин	
Питание (от сети)	220 В	

3.3 Устройство и органы управления

Прибор состоит из блока детектирования БДКГ-ОЗП со свинцовой защитой и измерительного устройства УИ-38П2 (далее – УИ). В состав радиометра также входят соединительный кабель, сосуд Маринелли объемом 1,0 л и контрольный источник.



На передней панели УИ расположены:



цифровое табло – для считывания результатов измерения

кнопка **ВКЛ** - включения питания

шестиразрядный переключатель:

первые три декады служат для установки коэффициента нормирования K_n

три последующие декады – для установки фона и поправки на содержание калия

кнопка **РЕЖИМ** - выбор режимов работы (при этом загорается соответствующий индикатор):

ОСН – основной режим, предназначенный для измерения УА (ОА) цезия-137 без учета активности калия-40


К – режим для измерения УА (ОА) калия-40 в пробе

УИ – контроль функционирования измерительного устройства

кнопка **б, %** - выбор статистической погрешности из значений $\pm 6\%$, $\pm 12\%$, $\pm 25\%$, $\pm 50\%$.

Коэффициент нормирования K_n определяется в зависимости от типа измерительного сосуда и степени его заполнения (см. 3.6.1). Три его последующие декады служат для установки фона и поправки на содержание калия, если необходимо автоматическое

вычитание фона в длительной серии измерений. При задании этих параметров, а также при считывании результата с цифрового табло следует учитывать, что $10^0=1$, $10^1=10$, $10^2=100$ и т.д.;

Индикатор  горит, когда прибор производит измерение.

3.4 Включение и проверка работоспособности


Подключите радиометр к сети. Включите прибор, нажав кнопку **ВКЛ**, и прогрейте его в течение 15 мин.

Установите на первых трех разрядах шестиразрядного переключателя значение $K_n = 1,0$.

Нажимая кнопку **РЕЖИМ** добейтесь свечения индикатора **УИ** (контроль функционирования измерительного устройства); кнопкой **δ, %** - свечения индикатора над значением **25**.

На цифровом табло должно появиться значение «**4,85 ± 0,05 с⁻¹**», указывающее на исправную работу измерительного устройства.

3.5 Проверка сохранности градуировки прибора (с помощью контрольного источника)

Измерьте значение фона $A_{\text{ф}}$ при пустом блоке детектирования. Для этого нажимая кнопку **δ, %** добейтесь свечения индикатора над значением статистической погрешности, равным **6**; кнопкой **РЕЖИМ** установите режим работы **ОСН**. Измерение начинается сразу же после выбора данного режима и длится, пока горит индикатор работы .

Когда погаснет индикатор и прозвучит звуковой сигнал, результат измерения фона запишите в журнал.

Измерьте активность контрольного источника (вместе с фоном) – $A_{\text{с}}$. Для этого на блок детектирования поместите контрольный источник с держателем и закройте БЗ. Когда погаснет индикатор работы прибора и прозвучит звуковой сигнал, результат измерения запишите в журнал. Рассчитайте активность контрольного источника по формуле:

$$A_{\text{ист}} = A_{\text{с}} - A_{\text{ф}}.$$

Полученное значение сверьте с результатом последней поверки прибора, приведенным в паспорте прибора. Если эти

значения совпадают или находятся в пределах допустимой статистической погрешности ($\pm 10\%$), то блок детектирования исправен, и прибор готов к работе.

3.6 Порядок работы

3.6.1 Измерение фона


На блок детектирования поместите чистый пустой измерительный сосуд, а на измерительном устройстве установите следующие параметры:

– на первых трех декадах шестиразрядного переключателя – приведенный в таблице коэффициент нормирования K_n , в зависимости от типа сосуда и объема его заполнения;

Тип кюветы	Объем заполнения, л	Коэффициент нормирования K_n
Пластмассовая чашка Петри	0,050	19
	0,075	20
Стеклянная чашка Петри	0,075	22
	0,100	22
Чашка Denta	0,100	22
	0,130	25
Гомельский сосуд Маринелли (0,5 л)	0,250	22
	0,300	24
	0,500	29
	0,675	33
Чашка под кольцо	0,735	44
Гомельский сосуд Маринелли (1,0 л)	0,500	28
	0,670	30
	1,000	32
Желтоводский сосуд Маринелли	0,500	23
	1,000	28
	1,275	33

– кнопкой статистическая погрешность δ , % добейтесь свечения индикатора над цифрой 6;

– кнопкой **РЕЖИМ** установите режим работы **ОСН**.

Измерение начинается сразу же после выбора данного режима и длится, пока горит индикатор .

Когда погаснет индикатор работы прибора и прозвучит звуковой сигнал, результат измерения запишите в журнал. Проведите не менее 5 измерений (рекомендуется 5-10) и найдите среднее значение A_{ϕ} .

Уровень собственного фона блока детектирования не должен превышать $6,0 \text{ с}^{-1}$.

В случае работы с кюветами одного типа, имеющими известные, заранее измеренные фоновые характеристики, при работе в пределах одной группы загрязненности проб или при работе с продукцией, исключающей попадание части пробы в блок детектирования (например, упакованной), рекомендуется контролировать постоянство фона через промежутки времени в 1-3 ч. Текущее среднее значение фона не должно отличаться от аналогично полученного значения фона в начале рабочей смены более чем на +25 %. При меньшем изменении фона в дальнейших вычислениях учитывают последнее среднее его значение.

3.6.2 Измерение объемной и удельной активности пробы

Заполните сосуд пробой и поместите его на блок детектирования, закройте БЗ. На измерительном устройстве должны быть установлены:

K_n – в зависимости от типа сосуда; режим – **ОСН**, $\delta = 6 \%$.

Измерения проб обычно проводят с погрешностью $\pm 6 \%$, другие режимы используют для оперативной (в течение 1-3 мин) предварительной оценки УА (ОА).

Проводят не менее пяти измерений суммарного воздействия на блок детектирования гамма-излучения радионуклидов пробы и фонового излучения, после чего находят среднее значение A_c .

Объемная активность пробы находится по формуле:

$$A_v = \frac{A_c - A_{\phi}}{V} \text{ (Бк/л)},$$

где V – объем пробы, л.

При многократных измерениях проб удобно использовать режим автоматического вычитания фона. Для этого полученное среднее значение A_{ϕ} набирается на трех последних декадах кодового переключателя. В этом случае при каждом измерении пробы прибор автоматически вычисляет и выводит на цифровой индикатор значение числителя $A_c - A_{\phi}$.

При необходимости измеряется и учитывается вклад К-40. Корректировка необходима, когда полученная по результатам измерений УА (ОА) близка к допустимому уровню загрязненности, а также при контроле продуктов и других проб, характеризующихся повышенным его содержанием (бобовые, гречка, свежая зелень, сухое молоко, чай и др.).

Объемная активность К-40 находится так же, как было описано в пунктах 3.6.1-3.6.2, но в режиме работы прибора **К**. Полученные значения следует вычесть из измеренных ранее значений (в режиме работы **ОСН**).

Удельная активность пробы находится по формуле:

$$A_m = \frac{A_c - A_{\phi}}{m} \text{ (Бк/кг)},$$

где m – масса пробы, кг, которую определяют на весах с погрешностью не более ± 2 %.

Результат измерения запишите в рабочий журнал в виде

$$OA (YA) = OA_{изм} (YA_{изм}) \pm \Delta,$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = OA_{изм} (YA_{изм}) \cdot \theta / 100 \%,$$

где θ – основная относительная погрешность измерения, в зависимости от типа используемого сосуда и диапазона измерения, в которое входит полученное значение.

Определить нижний предел измерения для различных типов сосуда возможно по формуле:

$$A_{нп} = \frac{0,035 \cdot НП \cdot K_n}{m}$$

где НП – нижний предел диапазона измерений с 50 % или 25 % погрешностью,

K_n – нормировочный коэффициент в зависимости от типа сосуда.

В случае значений $OA (YA)$, которые меньше нижней границы диапазона измерения, указанного в таблице для конкретного радиометра и измерительной кюветы, погрешность измерения не регламентируется.

Поэтому при получении в результате измерений активности – $OA (YA)$ меньше этой нижней границы, результат измерения должен быть представлен в виде

$$A_{изм} < A_{min}.$$

3.7 Выключение прибора

Нажмите кнопку **ВКЛ** и отключите прибор от сети.

4 РАДИОМЕТРЫ РКГ-01 (РКГ-02, РКГ-02С, РКГ-03) «АЛИОТ»

4.1 Назначение

Радиометры предназначены для измерения удельной (УА) и объемной активности (ОА) гамма-излучающих радионуклидов в пробах пищевых продуктов и природной среды.

4.2 Технические характеристики

	РКГ-01	РКГ-02С	РКГ-02	РКГ-03
<i>Диапазоны измерения</i>				
ОА (УА) радионуклидов Cs, Bк/л (Bк/кг) в номинальном объеме кюветы	1,0 л	18,5 - 37 000		7 - 37 000 10 - 37 000
	0,5 л	25 - 37 000	20 - 37 000	10 - 37 000 20 - 37 000
	0,1 л	185 - 37 000		80 - 37 000 100 - 37 000
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>				
ОА (УА) радионуклидов Cs в диапазоне 10 - 37 Bк/л (Bк/кг) в остальных диапазонах				± 25 %
	± 35 %			
<i>Пределы дополнительной относительной погрешности измерения</i>				
вносимый радионуклидом K-40	± 15 %			± 10 %
при изменении плотности пробы	± 5 %			
при отклонении температуры	± 10 %			
при отклонении напряженности магнитного поля	± 10 %			
при нестабильности электропитания	± 10 %			
<i>Условия эксплуатации</i>				
температура окружающего воздуха	от +1 до +40 °С			
относительная влажность воздуха при температуре до +30 °С	до 80 %			
атмосферное давление	84 - 106,7 кПа (630 до 800 мм рт. ст.)			
напряженность магнитного поля	до 400 А/м			
Время установления рабочего режима	30 мин		15 мин	10 мин
Время измерения пробы (max)	2700 с			
Питание (от сети)	220 В			

4.3 Устройство и органы управления

Прибор состоит из электронного блока и блока детектирования в свинцовой защите. В состав прибора также входят соединительный кабель, сосуды Маринелли объемом 1 л (5 шт.).

На передней панели электронного блока расположены:



табло жидкокристаллического индикатора

кнопка **ПУСК** – начало измерений

кнопка **СТОП** – прекращение текущего измерения

кнопка **ЕДИН. ИЗМ.** – выбор единиц измерения

кнопка **ОБЪЕМ** – ввод объема измеряемой пробы

кнопки **0...9** – наборное поле для значения массы измеряемой пробы в граммах

кнопка **В** – ввод массы измеряемой пробы

кнопка **К (Ф)*** – вывод на экран активности пробы по калию-40

Примечание - для РКГ-02 кнопка **Ф** – измерение фона.

4.4 Включение прибора

Подключите прибор к сети.

Включите радиометр тумблером **СЕТЬ** (расположен на задней панели электронного блока) и выдержите во включенном состоянии: 30 мин – РКГ-01 и РКГ-02С; 15 мин – РКГ-02 и 10 мин –

РКГ-03. Контрольный индикатор **РЕЖИМ** при этом должен мигать.

4.5 Порядок работы

4.5.1 Измерение фона

Для уменьшения основной погрешности измерение фона лучше проводить с сосудом Маринелли заполненным дистиллированной водой.

Поместите сосуд в защитный домик. Нажмите клавишу **ПУСК (Ф)** – для РКГ-02).

При измерении фона гамма-излучения предусмотрена блокировка всей клавиатуры, а на цифровом индикаторе будут отображаться:

для РКГ-01, РКГ-02 и РКГ-02С

слева – скорость счета фонового излучения, *имп/с*;

справа – статистическая погрешность измерений, %;

для РКГ-03

слева – скорость счета фонового излучения, *имп/с*;

в центре – статистическая погрешность измерений, %;

справа – предел измерения активности пробы при данном фоне и статистической погрешности (*Бк/кг*).

Показания относятся к цезиевому каналу, но одновременно осуществляется измерение фона и в калиевом канале.

Измерение фона заканчивается автоматически по достижении заданной (1,5 % – для РКГ-01 и РКГ-02, 1,0 % – для РКГ-03) или записанной в памяти прибора погрешности, либо при нажатии кнопки **СТОП**. Значения скоростей счета в калиевом и цезиевом каналах запоминаются в памяти прибора и используются при расчетах активности пробы.

По окончании измерения фона раздается звуковой сигнал и на табло отображаются:

для РКГ-01 и РКГ-02С –

слева – значение фона в цезиевом канале (*имп/с*);

справа – статистическая погрешность измерения фона (%);

для РКГ-02 и РКГ-03 –

слева – значение фона в цезиевом канале (*имп/с*);

в центре – значение фона в калиевом канале (*имп/с*);

справа – предел обнаружения УА пробы по цезию (*Бк/кг*).

После запоминания фона происходит разблокировка всех органов управления. Для повторного измерения фона предварительно нажмите кнопку **СБРОС**, находящуюся на задней панели прибора.

Показания фона каждый день необходимо заносить в рабочий журнал. В случае изменения фона в цезиевом канале более чем на 20 % от предыдущих измерений необходимо выявить источник повышения фона и устранить его (провести дезактивацию).

Измерение фона следует повторить, если прибор перенесен на новое место, имеются сомнения в результате измерения, меняются типы сосудов, произошло загрязнение рабочего места.

4.5.2 Измерение объемной и удельной активности пробы

Поместите предварительно взвешенную пробу в кювету, а кювету в защитный домик.

Последовательно нажимая кнопку **ОБЪЕМ**, добейтесь свечения индикаторного диода, соответствующего объему установленной для измерения пробы.

Только для РКГ-02 – при измерении ОА с помощью наборного поля введите число, соответствующее объему пробы в миллилитрах, и нажмите кнопку **В** – ввод.

При измерении УА введите с клавиатуры число, равное чистому весу пробы в граммах, и нажмите кнопку **В**.

При записи вводимого значения массы (объема) раздается характерный звуковой сигнал.

В случае ошибочного ввода можно повторить набор веса (объема) после нажатия кнопки **В**.

Кнопкой **ПУСК** запустите измерение пробы.

В радиометре РКГ-01 предусмотрена выдача звукового сигнала при времени измерения 300 с, в РКГ-02 – 100 с, в РКГ-03 прибор выдает звуковой сигнал по достижении статистической погрешности 10 %, но измерения продолжают.

На индикаторе наблюдаем изменяющиеся показания удельной активности пробы в $Bк/кг$ ($Bк/л$) и статистической погрешности измерения в %. Измерение заканчивается автоматически (при достижении статистической погрешности 15 % – для РКГ-01 и РКГ-02, 2 % – для РКГ-03), или его можно

остановить вручную, для чего нажмите кнопку **СТОП**. Кнопку **СТОП** следует придерживать в нажатом состоянии несколько секунд до окончательной остановки измерения, что сопровождается коротким звуковым сигналом, а также погасанием контрольной лампочки над клавишей **СТОП**.

По окончании измерения раздается звуковой сигнал и на табло отображаются:

слева – активность пробы, $Bк/кг$ ($Bк/л$);

справа – статистическая погрешность измерения (в % – для РКГ-01; в $Bк/кг$ ($Bк/л$) – для РКГ-02 и РКГ-03).

Нажав кнопку **ЕДИН. ИЗМ.**, можно получить результат измерения в $Kи/кг$ и погрешность в %.

Активность пробы по К-40 в $Bк/кг$ или $Kи/кг$ можно считать с индикатора, нажав кнопку **К**.

Если следующая проба имеет тот же объем, то поместив ее в защиту, введите вес и нажмите кнопку **ПУСК**.

При получении УА (ОА) исследуемой продукции в величинах близких (в пределах погрешности радиометра) к РДУ-99 необходимо повторить измерения на других пробах этой продукции или, из-за отсутствия таковых, на этой же пробе. Заключение о пригодности использования продукции следует сделать по среднему из трех значений полученных результатов измерения УА (ОА).

Результат измерения запишите в рабочий журнал в виде

$$OA (YA) = OA_{изм} (YA_{изм}) \pm \Delta,$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = OA_{изм} (YA_{изм}) \cdot \theta / 100 \%,$$

где θ – основная относительная погрешность измерения, в зависимости от типа используемого сосуда и диапазона измерения, в который входит полученное значение.

Для значений ОА (УА) меньше нижней границы диапазона измерения, указанной в таблице технических характеристик для данного радиометра и измерительной кюветы, погрешность измерения не регламентируется.

Учет фактора влияния плотности вводится в случаях, когда плотность измеряемой пробы отличается от $1,0 \text{ кг/дм}^3$. Расчет

нижней границы диапазона измерений в этом случае осуществите по формуле (согласно методике выполнения измерения):

$$1) \quad A_{\min} = \text{НГДИ} \cdot K_{\pi},$$

где НГДИ – нижняя граница диапазона измерения, Бк/л (Бк/кг),

K_{π} – безразмерный коэффициент, рассчитанный по формуле:

$$K_{\pi} = V \cdot K_p / m,$$

где V – номинальный объем заполнения кюветы (л),

m – масса проб, кг,

K_p – поправка на плотность измеряемой продукции, приведенная в таблице

Тип измерительной кюветы	Номинальный объём, л	Плотность измеряемой пробы, ρ					
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Сосуд Дента	0,1	0,892	0,904	0,916	0,927	0,939	0,951
Сосуд Маринелли	1,0	0,922	0,931	0,940	0,950	0,960	0,969
		Плотность измеряемой пробы, ρ					
		0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
Сосуд Дента	0,1	0,963	0,976	0,988	1,000	1,013	1,025
Сосуд Маринелли	1,0	0,979	0,989	0,999	1,000	1,019	1,029
		Плотность измеряемой пробы, ρ					
		1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Сосуд Дента	0,1	1,038	1,051	1,064	1,077	1,090	1,102
Сосуд Маринелли	1,0	1,039	1,049	1,060	1,070	1,080	1,087

или по формуле:

$$2) \quad A_{\min} = \text{НГДИ} / \rho,$$

где ρ – плотность пробы, кг/л, которая вычисляется как отношение массы пробы (кг) к ее объему (л, см³), занимаемому в штатном сосуде.

4.6 Выключение прибора

Переведите тумблер СЕТЬ (на задней панели прибора) в положение **ВЫКЛ** и отключите прибор от сети.

5 ГАММА-РАДИОМЕТРЫ РКГ-01А (РКГ 01А/1, РКГ 02А/1)

5.1 Назначение

Радиометры предназначены для:

– измерения объемной и удельной активности (далее – ОА и УА) радионуклидов, цезия-137 (^{137}Cs), цезия-134 (на текущий период – не актуально) а также радионуклида калия-40 (^{40}K) в продуктах питания, кормах и других пробах различной консистенции: твердых (измельченных), жидких, сыпучих и пастообразных;

– экспресс-оценочных измерений при массовом контроле продуктов питания в стандартных упаковках без вскрытия.

5.2 Технические характеристики

	РКГ-01А	РКГ-01А/1	РКГ-02А/1
<i>Диапазоны измерения</i>			
ОА (УА) радионуклидов Cs с закрытой крышкой БЗ, Бк/л (Бк/кг) в сосуде объемом 1,0 л	3,7 - 99 990	7,4 - 99 990	-
	0,5 л	37,0 - 99 990	18,5 - 9 999
	0,2 л	-	100 - 9 999
	0,1 л	180 - 99 990	-
ОА (УА) радионуклидов Cs с открытой крышкой БЗ в промышленной таре объемом 1,0 л; 0,5 и 0,25 л, Бк/л (Бк/кг)	100 - 99 990	-	-
ОА (УА) радионуклида ^{40}K , Бк/л (Бк/кг) в сосуде объемом 1,0 л	100 - 20 000		
	0,5 л	300 - 20 000	
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>			
ОА (УА) радионуклидов Cs с закрытой крышкой БЗ в сосуде объемом 1,0 л	в диапазоне 3,7 – 18,0 Бк/л (Бк/кг)	± 35 %	
	7,4 – 18,0 Бк/л (Бк/кг)		± 35 %
	18,0 – 99 990 Бк/л (Бк/кг)	± 25 %	
для сосуда 0,5 л - в диапазоне 18,5 - 99 Бк/л (Бк/кг) для сосуда 0,2 л - в диапазоне 100 – 999 Бк/л (Бк/кг)	-		± 35 %

	РКГ-01А РКГ-01А/1	РКГ-02А/1
для сосуда 0,5 л - в диапазоне 100 – 9999 Бк/л (Бк/кг)	-	± 25 %
для сосуда 0,2 л - в диапазоне 1000 – 9999 Бк/л (Бк/кг)		
ОА (УА) радионуклидов Cs с открытой крышкой БЗ	± 50 %	-
ОА (УА) радионуклида ⁴⁰ K	± 35 %	-
<i>Предел дополнительной относительной погрешности измерения</i>		
при изменении плотности пробы	± 5 %	± 12 %
при отклонении температуры	± 10 %	± 7 %
при отклонении напряженности магнитного поля	± 10 %	
при нестабильности электропитания	± 3 %	± 5 %
<i>Условия эксплуатации</i>		
температура окружающего воздуха	от +1 до +40 °С	от -10 до +40 °С
относительная влажность воздуха при температуре до +30 °С	до 75 %	
атмосферное давление	84 - 106,7 кПа (630 до 800 мм рт. ст.)	
напряженность магнитного поля	до 400 А/м	
Время установления рабочего режима	5 мин	2 мин
Продолжительность измерения фона при предполагаемой активности пробы		
менее 20 Бк/л (Бк/кг), статистическая погрешность 1-2 %;	3600 с	
более 20 Бк/л (Бк/кг), статистическая погрешность 3-4 %;	1800 с	
менее 50 Бк/л (Бк/кг), статистическая погрешность 1-2 %;		3600 с
более 50 Бк/л (Бк/кг), статистическая погрешность 2-3 %		1800 с
Время измерения пробы (max)	1000 с	2000 с
Питание (от сети; аккумулятор)	220 или 12 В (3 Вт)	

5.3 Устройство и органы управления

Прибор состоит из совмещенных блока детектирования (БД) и блока защиты (БЗ), а также блока обработки информации (БО). В состав радиометра также входят соединительный кабель, сосуд 0,5 л и



контрольный источник; для РКГ-01А, РКГ-01А/1 еще сосуд Маринелли объемом 1,0 л, а для РКГ-02А/1 – 0,2 л.

На передней панели БО расположены:



табло жидкокристаллического индикатора

кнопка **ВКЛ** - включение и отключение питания

кнопка **ПОРОГ** – вывод на индикатор и установка порога сигнализации

кнопка **ОБЪЕМ** – ввод геометрии измерения

кнопка **МАССА** – ввод массы измеряемой пробы

кнопка **ФОН** – режим измерения фона

кнопка **СТОП** – остановка измерений, выбор требуемого режима или значения

кнопка **ИЗМЕР** – запуск измерений.

5.4 Включение прибора

Подключите радиометр к сети.

Нажмите кнопку **ВКЛ**, на табло появится сообщение «Test», прибор переходит в режим самоконтроля, который длится примерно 30 с. После его завершения появляется сообщение «Hello» и звучит короткий звуковой сигнал.

5.5 Проверка сохранности градуировки прибора (с помощью контрольного источника)

Перед началом работы и каждый раз, когда есть сомнение в правильности функционирования прибора измерьте собственный фон в канале Cs.

- Плотно закройте крышку пустого БЗ и нажмите кнопку **ФОН** – на табло индицируется символ «F» и раздается короткий звуковой сигнал.

При достижении относительной статистической погрешности $\pm 5\%$, что сопровождается коротким звуковым сигналом и появлением на индикаторе перед символом “+ / –“ знака “!”, запишите значение фона N_{ϕ} в журнал (**кнопку СТОП не нажимать!**).

• Откройте крышку БЗ, установите на корпус БД контрольный источник и плотно закройте крышку. Нажмите кнопку **ИЗМЕР**, затем (через 5-7 с) кнопку **ФОН**. При достижении статистической погрешности $\pm 2\%$ запишите значение скорости счета от контрольного источника N_a в журнал (**кнопку СТОП не нажимать!**), извлеките контрольный источник. Проверьте, в соответствии со свидетельством о поверке, выполнение условия:

$$N_{ГН} \leq (N_a - N_{\phi}) / K_p \leq N_{ГВ}$$

где $N_{ГН}, N_{ГВ}$ – нижнее и верхнее градуировочные значения,
 N_a – значение скорости счета от контрольного источника,
 N_{ϕ} – значение фона при 5 % погрешности,
 K_p – поправочный коэффициент (приложение 6 паспорта).

5.6 Порядок работы

5.6.1 Измерение фона

Измерение фона следует повторять раз в 2-3 дня. Значение фона должно быть измерено перед проведением серии измерений активности при изменении условий работы с радиометром (его местоположения, уровня внешнего гамма-фона и т.д.), а также перед проведением измерений проб с предполагаемой активностью менее 10 Бк/л (Бк/кг).

В остальных случаях можно использовать предыдущие результаты измерения фона, но с контролем его постоянства непосредственно перед проведением каждой серии измерений активности проб.

Установите в БЗ сосуд Маринелли с дистиллированной водой (или пустой сосуд, если плотность измеряемых проб меньше $0,3 \text{ г/см}^3$). Закройте БЗ и нажмите кнопку **ФОН**.

При достижении необходимого значения статистической погрешности нажмите кнопку **СТОП**. Запишите значение фона и время его набора в журнал.

При внешнем фоне гамма-излучения не более $0,2 \text{ мкЗв/ч}$ значение фона не должно превышать в канале Cs значений $2,0 \text{ с}^{-1}$ (РКГ-01А) и $2,5 \text{ с}^{-1}$ (РКГ-01А/1), в канале К – $1,5 \text{ с}^{-1}$ (для обоих радиометров); предельное значение фона для РКГ-02А, РКГ-02А/1 – $6,0 \text{ с}^{-1}$.

Продолжительность контрольной проверки составляет 15-20 *мин* (при относительной статистической погрешности фона «! ± 5 %»). Результаты контрольных проверок фоновых показателей радиометров желательно фиксировать в рабочем журнале.

Полученное значение сравните с записанным в памяти прибора, если оно отличается не более чем на $0,1 \text{ с}^{-1}$, фон считается неизменившимся.

5.6.2 Измерение объёмной активности пробы

Подготовьте пробу, поставьте её в БЗ.

После включения радиометр автоматически настраивается на сосуд Маринелли емкостью 1,0 л в режиме измерений с закрытой крышкой БЗ. Поэтому перед выполнением измерений с другим сосудом необходимо перестроить прибор на работу с ним.

С помощью кнопки **ОБЪЁМ** (нажмите и удерживайте более 3 с) выберите нужную геометрию измерения и введите ее в память прибора нажав кнопку **СТОП**. Нажмите кнопку **ИЗМЕР**, при достижении статистической погрешности ± 15 % (раздается короткий звуковой сигнал, а перед символом "±" появляется "!"), остановите измерение кнопкой **СТОП** и запишите результат в рабочий журнал.

5.6.3 Измерение удельной активности пробы

Радиометры РКГ-01А, РКГ-01А/1 обеспечивают автоматическое вычисление и учет плотности пробы при измерении УА.

Подготовьте пробу, поставьте её в БЗ.

С помощью кнопки **ОБЪЁМ** выберите геометрию измерения и нажмите кнопку **СТОП**. С помощью кнопок **МАССА** и **СТОП** введите массу пробы.

Нажмите кнопку **ИЗМЕР**, на табло появится значение объёмной активности (*Бк/л*) и статистическая погрешность (%). При достижении погрешности ± 15 % нажмите кнопку **СТОП** и запишите результат в рабочий журнал.

Если активность пробы меньше нижней границы диапазона измерения радиометра, символ "!" может не появляться на экране достаточно долго. В этом случае процесс измерения останавливают через 30 *мин* после его запуска.

Результат измерения запишите в рабочий журнал в виде

$$OA (YA) = OA_{изм} (YA_{изм}) \pm \Delta.$$

значение погрешности Δ рассчитайте по формуле:

$$\Delta = OA_{изм} (YA_{изм}) \cdot \theta / 100 \%,$$

где θ – основная относительная погрешность измерения, в зависимости от типа используемого сосуда и диапазона измерения, в которое входит полученное значение.

Для значений $OA (YA)$ меньше нижней границы диапазона измерения, указанной в таблице технических характеристик, погрешность измерения не регламентируется.

Учет фактора влияния плотности для радиометра РКГ-02А/1 в случаях, когда плотность измеряемой пробы отличается от $1,0 \text{ г/см}^3$ и лежит в интервале плотностей от 0,2 до $1,6 \text{ кг/дм}^3$, производится вручную.

Значение удельной активности YA с учетом поправки на плотность пробы вычислите по формуле (согласно МВИ):

$$YA = YA_{изм} \cdot K_n,$$

где $YA_{изм}$ – показание радиометра РКГ-02А/1, $Bк/кг$;

K_n – коэффициент, учитывающий влияние плотности пробы (ρ), которая вычисляется как отношение массы пробы (g) к ее объему ($см^3$), занимаемому в штатном сосуде.

Для оценки A_{min} следует также начальные значения диапазона измерения (НГДИ, $Bк/кг$ ($Bк/л$)), приведенные в таблице технических характеристик, умножить на поправочный коэффициент (K_n).

Плотность пробы, $г/см^3$	K_n	Плотность пробы, $г/см^3$	K_n	Плотность пробы, $г/см^3$	K_n
0,2-0,3	1,12	0,6-0,7	1,04	1,1-1,3	0,98
0,3-0,4	1,10	0,7-0,9	1,02	1,3-1,4	0,96
0,4-0,5	1,08	0,9-1,1	1,0	1,4-1,5	0,94
0,5-0,6	1,06			1,5-1,6	0,92

или провести расчет по формуле:

$$A_{min} = \text{НГДИ} / \rho.$$

5.7 Выключение прибора

Нажмите кнопку **ВКЛ** и отключите прибор от сети.

6 ГАММА-РАДИОМЕТРЫ РКГ-АТ1320 (РКГ-АТ1320А) «АТОМТЕХ»

6.1 Назначение

Гамма-радиометры предназначены для измерения:

– объемной активности (ОА) и удельной активности (УА) гамма-излучающих радионуклидов ^{137}Cs и ^{40}K в воде, пищевых продуктах, сельскохозяйственном сырье и кормах, промышленном сырье, продукции лесного хозяйства, других объектах окружающей среды;

– удельной эффективной активности ($A_{\text{эфф}}$) естественных радионуклидов (ЕРН) в строительных материалах и удельной активности ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в почве (РКГ-1320).

6.2 Технические характеристики

<i>Диапазоны измерения</i>		
ОА (УА) радионуклидов ^{137}Cs , Бк/л (Бк/кг) в номинальном объеме	1,0 л	$3,7 - 1 \cdot 10^5$
	0,5 л	$20,0 - 4 \cdot 10^5$
	0,1 л	$50,0 - 1 \cdot 10^6$
	10,0 л	$20,0 - 1 \cdot 10^5$
ОА (УА) радионуклидов ^{40}K , Бк/л (Бк/кг) в номинальном объеме	1,0 л	$50 - 2 \cdot 10^4$
	0,5 л	$200 - 2 \cdot 10^4$
	0,1 л	$500 - 2 \cdot 10^4$
	10,0 л	$100 - 2 \cdot 10^4$
ОА (УА) радионуклидов ^{226}Ra , Бк/л (Бк/кг) в номинальном объеме 1,0 л		$10 - 1 \cdot 10^4$
ОА (УА) радионуклидов ^{232}Th , Бк/л (Бк/кг) в номинальном объеме 1,0 л		$10 - 1 \cdot 10^4$
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>		
ОА (УА) радионуклидов ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th		$\pm 20 \%$
<i>Пределы дополнительной относительной погрешности измерения</i>		
при отклонении температуры		$\pm 3 \%$
при отклонении напряженности магнитного поля		$\pm 3 \%$
при изменении напряжения питания		$\pm 3 \%$
<i>Условия эксплуатации</i>		
температура окружающего воздуха		от 0 до +40 °С
относительная влажность воздуха при температуре до +30 °С		до 75 %
атмосферное давление		84 - 106,7 кПа (630

	до 800 мм рт. ст.)
напряженность магнитного поля	до 40 А/м
внешний фон гамма-излучения	не более 0,2 мкЗв/ч
Время установления рабочего режима	10 мин
Питание (от сети)	220 (+23; -33) В

6.3 Устройство и органы управления

Прибор состоит из блока детектирования (БД), блока защиты (БЗ) и блока обработки информации (БО). В состав радиометра также входят соединительный кабель, сосуды объемом 1,0 и 0,5 л, контрольная проба.

По своей сути данный радиометр представляет собой усеченный вариант спектрометра.




На передней панели БО расположены:

табло жидкокристаллического индикатора,

кнопки управления.



Кнопка	Наименование и функциональное назначение
ВКЛ/ОТКЛ	включение/выключение прибора
МЕНЮ	переключение между режимами
	перемещение по пунктам меню
ВВОД	Выбор конкретной функции
1, 2, ... 9, 0	в режиме функций: ввод разряда числа; в режиме отображения спектра: выполнение конкретных операций, указанных на кнопке под цифрой

Управление прибором осуществляется кнопками на БО и/или системой меню. Структура меню и подменю прибора представлена в таблице.

Измерение	Спектр	Обработка	Настройки
набор набор спектра	чтение чтение из памяти	активн активность выбираемого нуклида	дата установка дата и времени
прод продолжение	запись запись в память	выч. ф вычесть фон	контр контрастность
пров проверка градуировки	зап. ф запись фона	слож. ф сложить фон	прибор информация о приборе
кон. ф контроль фона	зап. кон. ф запись контрольного фона		пороги служебный режим

6.4 Включение прибора

Подключите прибор к сети и нажмите кнопку **ВКЛ/ОТКЛ**. На экране появится надпись «АТОМТЕХ», а затем сообщение о прогреве прибора, который длится около 15 мин.

В процессе прогрева установите контрольную пробу и закройте блок защиты (БЗ). По окончании проверки градуировок радиометра, когда на экране появится сообщение «ПРОВЕРКА ЗАВЕРШЕНА», уберите контрольную пробу.

6.5 Порядок работы

6.5.1 Измерение фона

Для нормальной работы прибора в его памяти должны храниться **контрольный** и **рабочий** фоны. Они измеряются не реже одного раза в месяц с хорошей статистикой (время измерения не менее 3 ч).

• Измерение контрольного фона

Закройте БЗ, не помещая в него измерительный сосуд. Нажмите кнопку **МЕНЮ**, затем **НАБОР**. Задайте, вводя поочередно в окне редактирования, которое перемещают кнопками ↓ или ↑, следующие параметры: «**время (с)**» – 10800; «**масса (г)**» – 1, «**геометрия – сосуд Маринелли 1 л**». Нажмите кнопку **ВВОД**. После завершения набора для записи в память полученного спектра нажмите кнопку **МЕНЮ**, кнопкой →

выберите режим «СПЕК» и кнопкой ↓ функцию «З. КОН. Ф.», нажмите кнопку **ВВОД**.

- *Измерение рабочего фона*

Установите в БЗ выбранный измерительный сосуд, заполненный дистиллированной водой, закройте БЗ, нажмите кнопку **МЕНЮ**, затем **НАБОР**. Задайте параметры: «**время (с)**» – 10800; «**масса (г)**» – 1000 (500 или 100), «**геометрия – сосуд Маринелли 1 л (сосуд Маринелли 0,5 или 0,1 л)**». Нажмите кнопку **ВВОД**. После завершения набора рабочего спектра для записи его в память нажмите кнопку **МЕНЮ**, кнопкой → выберите режим «СПЕК», кнопкой ↓ - функцию «**ЗАП. ФОН**» и нажмите кнопку **ВВОД**.

Аналогичным образом измеряют рабочие спектры для всех используемых измерительных сосудов.

Рабочий фон автоматически вычитается из результата каждого измерения. Поэтому он измеряется и запоминается для всех используемых в работе сосудов, при этом они должны быть заполнены дистиллированной водой. Для проб с плотностью менее $0,3 \text{ г/см}^3$ в качестве рабочего используется контрольный фон (измеряемый с пустым БЗ).

Ежедневно проводится лишь проверка **неизменности фона (оперативный контроль фона)**. При этом фон измеряется с пустым БЗ, быстро (около 3 мин), а полученное значение сравнивается с контрольным фоном. Если их значения достаточно сильно отличаются друг от друга, дальнейшие измерения становятся невозможны.

Это может произойти в результате загрязнения внутренней поверхности БЗ и поверхности БД, тогда следует произвести их очистку и повторно проконтролировать неизменность фона. Могли измениться условия эксплуатации прибора (переезд на новое место, в непосредственной близости от рабочего места находится радиоактивный источник). В этом случае необходимо провести новое измерение контрольного фона.

- *Контроль неизменности фона*

После прогрева и контроля сохранности градуировки прибора нажмите кнопку **ВВОД**, не помещая в БЗ измерительный сосуд. С этой же целью можно также нажать кнопку **МЕНЮ**, выбрать в режиме «ИЗМ» функцию «**КОНТРОЛЬ ФОНА**», и

нажать **ВВОД**. Появление сообщения (примерно через 3 мин) «**ФОН В НОРМЕ**» будет свидетельствовать о неизменности фона.

При сообщении «**ФОН НЕ В НОРМЕ**», выясните причины изменения фона.

6.5.2 Измерение удельной и объемной активности пробы

Выбранный измерительный сосуд заполните пробой и поместите в БЗ. Закройте БЗ. Нажмите кнопку **МЕНЮ**, потом кнопку **НАБОР** (или выберите в режиме «**ИЗМ**» функцию «**НАБОР**»).

Время, массу и геометрию введите поочередно в окне редактирования, которое перемещают кнопками \uparrow или \downarrow , с помощью соответствующих цифровых кнопок:

– время измерения, c – ориентировочно (можно и не вводить, тогда измерение будет продолжаться до принудительной остановки кнопкой **СТОП**);

– массу, g , и геометрию, l – в соответствии с результатом взвешивания пробы и выбранным для измерения сосудом. Нажмите кнопку **ВВОД**.

Для получения результатов измерения УА радионуклидов цезия-137 и калия-40 нажмите кнопку **АКТИВ**, а для определения ОА – повторно нажмите кнопку **АКТИВ**. Для получения результатов измерения УА (ОА) с результирующей погрешностью – нажмите кнопку **ТЕСТ**.

По достижении требуемого значения абсолютной погрешности Δ нажмите (если не задавалось время измерения) кнопку **СТОП**.

Для последующих измерений нажмите кнопку **НАБОР**, введите параметры набора и нажмите кнопку **ВВОД**.

Специальной доработки результатов измерений УА (ОА) радионуклидов в пробе не требуется. Полученные результаты запишите в журнал.

6.6 Выключение прибора

Нажмите 3 раза кнопку **ВКЛ/ОТКЛ**, на экране появится сообщение «**ВЫКЛЮЧИТЬ ПРИБОР?**», еще раз нажмите кнопку **ВКЛ/ОТКЛ**. Отключите прибор от сети.

7 ГАММА-БЕТА СПЕКТРОМЕТРЫ МКС АТ 1315

7.1 Назначение

Гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315 представляет собой комбинированное спектрометрическое и радиометрическое средство измерения смешанного гамма-бета-излучения.

Спектрометр предназначен для качественного и количественного анализа проб объектов окружающей среды различного происхождения и консистенции (продуктов питания, питьевой воды, сельскохозяйственной продукции и сырья, строительных материалов, почвы и др.) на содержание гамма-бета-излучающих радионуклидов.

7.2 Технические характеристики

<i>Диапазоны измерения</i>		
ОА (УА) радионуклидов ^{137}Cs , Бк/л (Бк/кг) в номинальном объеме	1,0 л	$2 - 1 \cdot 10^5$
	0,5 л	$6 - 4 \cdot 10^5$
	0,1 л	$15 - 1 \cdot 10^6$
ОА (УА) радионуклидов ^{40}K , Бк/л (Бк/кг) в номинальном объеме	1,0 л	$20 - 2 \cdot 10^4$
	0,5 л	$75 - 2 \cdot 10^4$
	0,1 л	$170 - 2 \cdot 10^4$
ОА (УА) радионуклидов ^{90}Sr , Бк/л (Бк/кг) в номинальном объеме	1,0 л	$20 - 3 \cdot 10^5$
	0,5 л	$20 - 3 \cdot 10^5$
	0,1 л	$100 - 1 \cdot 10^6$
<i>Нижняя граница диапазона измерений ОА (УА) ^{90}Sr для концентрированных проб в пересчете на исходную «сырую» пробу</i>		
в питьевой воде, Бк/л		0,2
в молоке и специализированном детском питании, Бк/л (Бк/кг)		1,5
в картофеле, хлебе и хлебопродуктах, Бк/кг		2,0
<i>Пределы основной относительной погрешности измерения</i>		
ОА (УА) радионуклидов ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr		$\pm 20\%$
<i>Пределы дополнительной относительной погрешности измерения</i>		
при изменении температуры		$\pm 5\%$
при изменении влажности		$\pm 5\%$
при изменении напряжения питания		$\pm 5\%$
при изменении напряженности магнитного поля		$\pm 10\%$
<i>Условия эксплуатации</i>		
температура окружающего воздуха		от +10 °С до 35 °С

относительная влажность воздуха при температуре до +30 °С	до 75 %
атмосферное давление	от 84 до 106,7 <i>кПа</i> (от 630 до 800 <i>мм рт. ст.</i>)
внешний фон гамма-излучения	не более 0,2 <i>мкЗв/ч</i>
время установления рабочего режима	30 <i>мин</i>
питание (от сети)	220 (+22;-33) <i>В</i>

7.3 Устройство и органы управления



Внешний вид спектрометра

Основные составляющие прибора – блок защиты (БЗ), сопряженный с двумя блоками детектирования (БД), и персональный компьютер (ПК). В нижней части блока защиты расположен блок детектирования гамма-излучения, в верхней – бета.

Управление прибором осуществляется стандартными для ПК органами – клавиатурой и мышкой. Программное обеспечение, использующее развитую

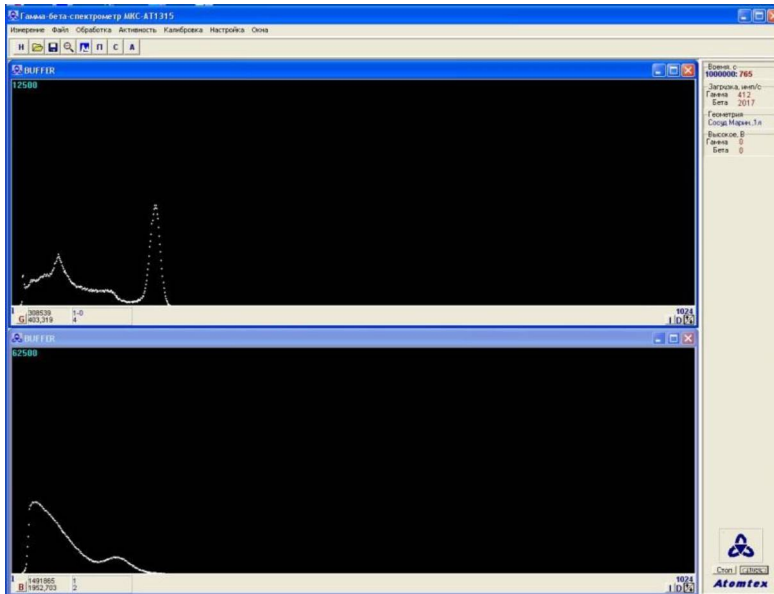
систему меню, позволяет:

- управлять режимами работы спектрометра;
- визуализировать накопление спектров;
- производить обработку спектрометрической информации, включая идентификацию радионуклидов и расчет активности;
- осуществлять операции со спектрами (сложение, вычитание, интегрирование, изменение масштаба, сглаживание, логарифмирование и т.п.);
- редактировать библиотеки радионуклидов;
- хранить и документировать данные.

На экране работающего спектрометра находится основное окно программы измерения, в котором расположены: синяя строка заголовка и ниже ее строка *основного меню*, кнопки управления для часто используемых команд, *информационные панели*, а также два

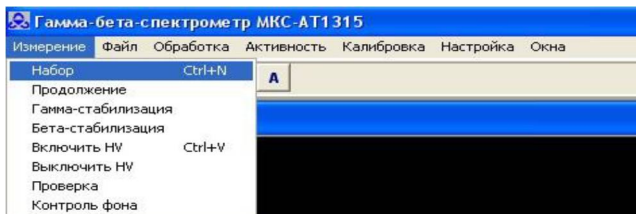
других окна с изображениями спектров гамма и бета каналов (красные управляющие кнопки **G** и **B** в левых нижних углах).

Назначение кнопок и панелей в окне легко определить: при наведении на них курсора мышкой появляется надпись-подсказка.



Основное окно программы

Каждый раздел (режим) основного меню содержит несколько функций (команд). Для выбора режима переместите мышку, пока курсор на экране не установится на нужную позицию. По щелчку мышкой раскрывается *подменю* с функциями. Включите выбранную функцию, наведя на нее курсор и щелкните любой кнопкой мышки.



Меню и одно из подменю

При управлении клавиатурой для входа в меню нажмите кнопку **F10**. Перемещение цветного указателя по меню осуществляется кнопками со стрелками, включение выбранного режима или функции – **Enter**, выход – **Esc**.

Составить представление о функциях прибора позволяет приведенный в таблице фрагмент структуры меню и основных подменю.

Измерение	Файл	Обработка	Активность	Калибровка
Набор	Чтение	Вычитание	Активность «сырая»	Энергия
Продолжение	Запись	Сложение		Разрешение
Гамма-стабилизация	Запись рабочего фона	Наложение	Активность, концентриров.	Эффективность
Бета-стабилизация	Запись контрольного фона	Обработка пика	Активность, фильтр	
Включить HV*)		Обработка спектра	Пересчет активности	
Выключить HV	Удаление			
Проверка				
Контроль фона				

*Примечание - HV (англ. – High Voltage) – высокое напряжение.

7.4 Включение и проверка работоспособности

Включите ПК и после загрузки операционной системы (Windows) запустите программу измерений «SPTR-ATM».

Это действие можно произвести с помощью либо клавиатуры, либо мышки. Перемещая мышку, наведите курсор на значок (иконку) программы и дважды щелкните (кликните) по ней левой кнопкой мышки с интервалом между щелчками не более 1 с.

При работе со старыми версиями прибора установите высокое напряжение. Для этого в режиме «ИЗМЕРЕНИЕ» выберите функцию «**Включить HV**» и мышкой нажмите кнопку «**Установить**». Эту функцию можно включить и нажатием клавиш **Ctrl-V** (при нажатой клавише **Ctrl** нажмите клавишу **V**). В новых приборах установка высокого напряжения происходит автоматически.

Перед началом работ в обязательном порядке нужно произвести контроль работоспособности и сохранности градуировки прибора. Это производится следующим образом:

- Откройте блок защиты (БЗ) и установите между пластинами держателя расстояние $L = 100$ мм, разместите держатель на корпусе блока детектирования гамма-излучения (БДГ) и поместите на держатель *контрольный источник* из комплекта поставки. После этого закройте БЗ и прогрейте прибор в течение не менее 30 мин.

- Выберите в режиме «ИЗМЕРЕНИЕ» основного меню функцию «Проверка». Для начала контроля нажмите клавишу **Enter** или выберите с помощью мыши кнопку «Начать». Проверка длится около 5 мин и обычно завершается сообщением «**Параметры в норме**».

В случае расхождения параметров с хранящимися в памяти градуировочными значениями появляется сообщение «**Параметры не в норме**». В этом случае необходимо выяснить причины расхождения, устранить их и повторить проверку. Если же расхождения устранить не удалось, проведите стабилизацию прибора, как это описано в 7.4.1 и повторите проверку.

- Иницируйте функцию «Набор» выбранную в режиме «ИЗМЕРЕНИЕ» основного меню (или с помощью клавиш **Ctrl-N**) и убедитесь, что происходит накопление спектра, а на информационных панелях индицируются параметры накопления спектра: сумма импульсов в спектре, интегральная скорость счета, время набора.

- Извлеките контрольный источник и держатель из БЗ.

7.4.1 Проведение стабилизации

Стабилизация – автоматическая регулировка спектрометра, обеспечивающая приведение характеристик прибора в соответствие их градуировочным параметрам.

Стабилизацию спектрометра проводят только в случае, если при проведении проверки работоспособности прибора появляется сообщение «**Параметры не в норме**». Следует учитывать, что после длительного (более 0,5 месяца) перерыва в работе перед регулировкой спектрометра необходимо его «приработать» от контрольного источника в течение 4 ч.

Функция **«Гамма-стабилизация»** обеспечивает установку центра пика полного поглощения от радионуклида Cs-137 в исходное состояние ($220 \pm 2,20$ канал).

Функция **«Бета-стабилизация»** обеспечивает установку центра левого из двух горбов бета-спектра радионуклида Cs-137 в исходное состояние ($155 \pm 3,10$ канал).

Стабилизацию осуществите, нажав кнопку **«Начать стабилизацию»**. Завершение процедуры сопровождается сообщением **«Стабилизация закончена»**.

7.5 Порядок работы

7.5.1 Измерение фона

Фоновые характеристики (рабочий и контрольный фоны) обычно измеряются один раз в месяц, но используются при каждодневном выполнении измерений.

• Измерение рабочего фона

Установите в БЗ измерительный сосуд, заполненный дистиллированной водой, закройте БЗ.

Выберите функцию **«Набор»** и в появившемся окне задайте параметры:

«Время набора, с» – не менее 3 ч;

«Масса пробы, г» – в зависимости от объема наполнения измерительного сосуда;

«Геометрия измерения, л» – в соответствии с установленным сосудом.

После завершения набора запишите измеренный спектр на диск ПК командой **«Запись рабочего фона»** режима **«ФАЙЛ»**. Извлеките сосуд из БЗ.

Аналогично проведите измерение рабочих фоновых спектров для всех типов используемых измерительных сосудов.

Нужный рабочий фоновый спектр автоматически вычитается из результата каждого измерения.

• Измерение контрольного фона

Закройте БЗ, не помещая в него измерительный сосуд.

Проведите набор спектра, выбрав функцию **«Набор»** с заданием времени набора – 3 ч. Запишите спектр, аналогично

записи рабочих фоновых спектров, но с использованием функции **«Запись контрольного фона»**.

Контрольный фоновый спектр необходим при выполнении каждодневной процедуры автоматического контроля неизменности фона.

При необходимости, рабочие и контрольные фоновые спектры могут быть считаны с диска с помощью команды **«Чтение»**.

• **Оперативный контроль фона**

Проводится ежедневно перед началом измерений с целью проверки неизменности фона.

Закройте БЗ, не помещая в него измерительный сосуд, и выберите в режиме **«ИЗМЕРЕНИЕ»** основного меню функцию **«Контроль фона»**.

Набранный спектр сравнивается с контрольным фоновым спектром. Появление сообщения **«Фон в норме»** свидетельствует о неизменности фона и готовности к проведению измерений. При появлении сообщения **«Фон не в норме»** выясните причины изменения фона и устраните их. При необходимости произведите повторное измерение контрольного фонового спектра.

7.5.2 Измерение активности пробы

Спектрометр обладает функциями измерения активности для проб двух типов: «сырых» и концентрированных. «Сырые» – пробы, не подвергшиеся предварительной термической обработке или фильтрации. Чувствительность прибора такова, что в этом режиме можно проводить измерения активности на соответствие допустимым уровням содержания цезия-137 практически любых видов продукции.

Чувствительность прибора при измерениях активности стронция-90 не так велика. Согласно данным таблицы технических характеристик нижний предел измеряемой активности составляет 20 Бк/кг , что значительно больше предельно допустимых уровней содержания стронция в пищевых продуктах и воде. Поэтому используют тот или иной способ концентрирования проб: термическую обработку, или фильтрование – для жидких продуктов. При этом число радионуклидов в пробе не изменяется, а масса пробы снижается, что приводит к увеличению удельной активности и возможности ее измерения на спектрометре. В

результате фактический нижний предел измеряемой активности снижается во столько раз, во сколько масса исходной пробы больше массы конечной, после концентрирования.

• **Измерение активности «сырых» проб (цезий-137)**

Поместите сосуд с пробой в БЗ и закройте его. Перейдите в режим набора спектра, введите значение времени измерения, массы пробы и геометрии измерения (тип сосуда). При задании времени, равного нулю, измерение продолжается до принудительной остановки с помощью кнопки «Стоп».

Конкретное значение массы пробы вводите только в случае измерения удельной активности. При измерении объемной активности введите значение массы, равное нулю.

Для определения активности пробы перейдите в режим «**АКТИВНОСТЬ**» основного меню и выберите функцию «**Активность сырая**». На экране монитора отобразятся значения измеренной объемной (удельной) активности радионуклидов и соответствующие им значения абсолютных и относительных статистических погрешностей, доверительные границы погрешностей измерений.

• **Измерение активности концентрированных проб (стронций-90)**

В случае термической обработки проб для определения активности перейдите в режим «**АКТИВНОСТЬ**» основного меню выберите функцию «**Активность, концентр**», введите массу полученного концентрата и исходную массу пробы (до концентрирования).

При измерениях активности стронция-90 в воде или молоке концентрация производится фильтрованием через волокнистый катионит **ФИБАН-К-1**. Для нахождения активности пробы выберите функцию «**Активность, фильтр**», укажите вид пробы (вода или молоко) и введите исходный объем пробы (до концентрирования). На экране монитора отобразятся значения измеренной объемной (удельной) активности радионуклидов и соответствующие им значения абсолютных и относительных статистических погрешностей, доверительные границы погрешностей измерений.

7.6 Выключение прибора

Для старых модификаций прибора в режиме «ИЗМЕРЕНИЕ» выберите функцию «**Выключить HV**», что обеспечит обязательное плавное выключение высокого напряжения на блоках детектирования.

В последних модификациях спектрометра выключение высокого напряжения происходит автоматически. Закройте программу «SPTR-ATM» и выключите компьютер.