

СОГЛАСОВАНО

Зам. директора  
Республиканского унитарного  
предприятия «Белорусский  
государственный институт  
метрологии»

  
Астафьева Л.Е.  
2006 г.



УТВЕРЖДАЮ

Зам. Первого проректора  
Белгосуниверситета,  
начальник НИЧ

  
Поняров В.В.  
2006 г.

**МЕТОДИКА**

выполнения измерений активности радона-222 в  
воздухе помещений на сцинтилляционных гамма-  
радиометрах

МВИ.МН 2526-2006

Разработчик: Белорусский государственный университет

## 1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая методика (МВИ) устанавливает условия, порядок и последовательность операций при отборе проб воздуха в жилых и служебных помещениях с улавливанием радонуклида радон-222 (радона) и его дочерних продуктов (ДПР) адсорберами с волокнистыми сорбционными и фильтрующими материалами и последующем измерении объемной активности и эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона на сцинтилляционных гамма-радиометрах.

Методика рассчитана на применение с гамма-радиометрами РКГ-АТ1320 и (или) дозиметрами-радиометрами МКС-АТ1125 в части выполнения измерений объемной активности радона и на применение гамма-радиометра РКГ-АТ1320 в части выполнения измерений ЭРОА радона.

Область применения МВИ – контроль содержания радона в воздухе помещений для целей проведения радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий на соответствие требованиям действующих технических нормативных правовых актов (ТНПА).

Минимальные измеряемые значения объемной активности и ЭРОА за время измерения экспонированных адсорберов 30 мин при статистической погрешности 50 % составляют соответственно 20 Бк/м<sup>3</sup> и 50 Бк/м<sup>3</sup>.

## 2 ТРЕБОВАНИЯ К ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 Погрешность определения объемной активности и ЭРОА радона состоит из погрешности пробоотбора на адсорбере и погрешности радиометрических измерений активности радона и его ДПР в адсорбере.

2.2 Границы основной относительной погрешности измерения объемной активности радона при доверительной вероятности  $P = 0,95$  составляют для диапазона измерений от 20 до 100 Бк/м<sup>3</sup> – 50 % и от 100 до 1000 Бк/м<sup>3</sup> – 35 %. Границы основной относительной погрешности измерения ЭРОА радона при доверительной вероятности  $P = 0,95$  составляют для диапазона измерений от 50 до 100 Бк/м<sup>3</sup> – 50 % и от 100 до 1000 Бк/м<sup>3</sup> – 35 %.

## 3 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

При выполнении измерений применяют следующие средства измерений и другие технические средства:

- Гамма-радиометр РКГ-АТ1320 по ТУ РБ 100865348.005-2002 или дозиметр-радиометр МКС-АТ1125 по ТУ РБ 100865348.003-2002 с пределом допускаемой относительной погрешности 20 %.

- Штатные измерительные кюветы – сосуды Маринелли радиометров емкостью 1,0 л для РКГ-АТ1320 и 0,5 л для МКС-АТ1125.

- Шкаф сушильный с терморегулятором с максимальной температурой нагрева 200 °С, точностью поддержания температуры  $\pm 5$  °С по ОСТ 16.0.801.307.

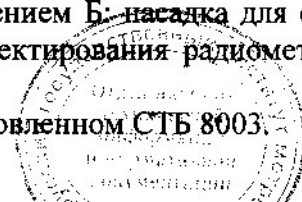
- Термостойкий, герметично закрывающийся сосуд - эксикатор по ГОСТ 25336-82 емкостью не менее 1 л для естественного остывания и хранения регенерированного адсорбера.

- Адсорберы по ТУ ВУ 100185198.094-2006 в геометрии штатных измерительных кювет используемых радиометров в соответствии с Приложением А.

- Пробоотборник воздуха переносной ПВП-04А ФВКМ.418311.011 с регулируемым объемным расходом от 20 до 120 л/мин и основной относительной погрешностью измерения объема пробы не более  $\pm 10$  %.

- Вспомогательное оборудование в соответствии с приложением Б: насадка для соединения адсорбера с пробоотборником; подставка для блока детектирования радиометра РКГ-АТ1320 при выполнении измерений без блока защиты.

Средства измерений должны быть поверены в порядке, установленном СТБ 8003.



Допускается использовать другие средства измерений, оборудование и материалы, имеющие такие же или лучшие метрологические характеристики.

#### **4 МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ**

Радон – радиоактивный инертный газ естественного происхождения, который находится в атмосфере в атомарном состоянии и распадается по цепочке  $Rn-222 \rightarrow Po-218 \rightarrow Pb-214 \rightarrow Bi-214 \rightarrow Po-214$ . Материнский радон и дочерние изотопы полония являются альфа-излучателями, тогда как радионуклиды  $Pb-214$  и  $Bi-214$ , претерпевая бета-распад испускают гамма-кванты в диапазонах энергий от 0,24 до 0,35 МэВ для свинца и от 0,61 до 2,2 МэВ для висмута. Радон непосредственно сам аэрозолей не образует. Радиоактивные аэрозоли образуются в результате присоединения его дочерних продуктов к находящимся в воздухе аэрозольным частицам.

4.1 Метод измерения объемной активности радона в воздухе основан на поглощении радона адсорбером с углеродным волокнистым материалом (сорбентом) и последующем определении в нем активности сорбированного радона. Поступление радона в адсорбер обеспечивается пассивной диффузией или принудительной аспирацией воздуха с помощью пробоотборного устройства. Активность радона в адсорбере определяют на сцинтилляционном радиометре путем регистрации гамма-излучения равновесных с радоном дочерних продуктов: свинца-214 и висмута-214.

4.2 Метод измерения ЭРОА радона в воздухе основан на улавливании аэрозольной фракции ДПР: полония, свинца и висмута адсорбером с волокнистым фильтрующим материалом (аэрозольным фильтром), последующем определении парциальных активностей ДПР и расчете ЭРОА по парциальным активностям. Поступление ДПР в адсорбер обеспечивается принудительной аспирацией воздуха с помощью пробоотборного устройства. Парциальные активности ДПР определяют путем селективной регистрации гамма-излучения свинца-214 и висмута-214 в адсорбере на сцинтилляционном радиометре спектретрического типа.

#### **5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ, ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

При подготовке к измерениям и в ходе их выполнения соблюдают требования:

- гигиенических нормативов ГН 2.6.1.8-127-2000 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000)»,
- санитарных правил и норм 2.6.1.8-8-2002 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002)»,
- требования безопасности, изложенные в эксплуатационной документации на используемые средства измерений и вспомогательные устройства.

Организация работы по электробезопасности должна соответствовать требованиям, изложенным в разделах правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ и ПТБ).

#### **6 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРОВ**

К пробоотбору, выполнению измерений и обработке их результатов допускают операторов с квалификацией не ниже лаборанта-радиометриста, изучивших настоящую методику и эксплуатационную документацию на используемые средства измерений. Операторы должны пройти обучение практическому применению методики

#### **7 УСЛОВИЯ ПРОБООТБОРА И ИЗМЕРЕНИЙ**

##### **7.1 Условия пробоотбора**

При отборе проб соблюдают следующие условия:

- Температура окружающего воздуха ( $20 \pm 5$ ) °С.



- Относительная влажность окружающего воздуха  $(40 \pm 20) \%$ .

Окружающая среда, где проводится пробоотбор, не должна содержать пыли, паров кислот, органических соединений и агрессивных примесей.

При активном пробоотборе должны исключаться:

- неплотные соединения в газовой схеме пробоотбора;
- конденсация влаги, осаждение пыли и частиц, затрудняющие соблюдение процедур пробоотбора и/или функционирование вспомогательного оборудования.

## 7.2 Условия выполнения измерений

При выполнении измерений должны соблюдаться нормальные условия эксплуатации радиометров, при этом внешний фон гамма-излучения не должен превышать  $0,2 \text{ мкЗв/ч}$ .

## 8 ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

Число и расположение подлежащих обследованию помещений, а также место установки адсорберов при пробоотборе регламентируется ТНПА.

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы:

- подготавливают адсорберы и проводят пробоотбор и пробоподготовку согласно подразделам 8.1 и 8.2.
- подготавливают к работе гамма-радиометрические приборы согласно подразделу 8.3.

### 8.1 Подготовка и проведение пробоотбора для измерения объемной активности радона

Пробоотбор при проведении измерений объемной активности предназначен для накопления в адсорбере радона из исследуемого объема воздуха в пассивном или активном режиме согласно подразделам 8.1.2, 8.1.3. При пробоотборе заполняют Протокол с указанием сведений в соответствии с Приложением В.

#### 8.1.1 Подготовка адсорбера

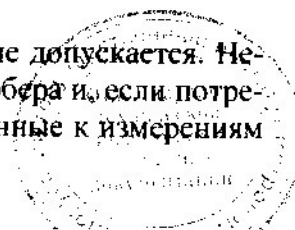
Подготовка адсорбера к пробоотбору включает его регенерацию, герметизацию в штатной измерительной кювете и проверку качества регенерации. Адсорберы после подготовки можно использовать для пробоотбора в пассивном или активном режиме.

Регенерацию адсорбера проводят нагреванием в сушильном шкафу при температуре от  $140$  до  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение от  $1,5$  до  $2$  часов, при этом дверку сушильного шкафа рекомендуется оставлять приоткрытой. Сразу по окончании регенерации горячий адсорбер переносят в герметично закрывающуюся термостойкую емкость (эксикатор) и герметично ее закрывают для остывания и хранения адсорбера.

Остывший адсорбер переносят в штатную кювету, которую сразу же закрывают герметичной крышкой. На этикетке крышки дублируют маркировку адсорбера.

Контроль качества регенерации проводят путем измерения фоновой эквивалентной гамма-активности  $Q_{\text{фа}}$  адсорбера, которая с учетом допустимой статистической погрешности радиометра  $\Delta Q_c$  (при  $P = 0,95$ ) должна отвечать требованию  $|Q_{\text{фа}} - Q_{\text{фм}}| \leq \Delta Q_c$ , где  $Q_{\text{фм}}$  – пороговый уровень собственного эквивалентного фона радиометра. Пороговые уровни собственного эквивалентного фона для радиометров РКГ-АТ1320 и МКС-АТ1125 определяют при их градуировке в соответствии с Приложением Г.

В случае невыполнения этого условия, применение адсорбера не допускается. Необходимо установить причины повышенной фоновой активности адсорбера и, если требуется, повторить его регенерацию или заменить сорбент. Подготовленные к измерениям





адсорберы хранят в штатных кюветах при комнатной температуре и транспортируют любым видом транспорта.

#### 8.1.2 Пассивный режим пробоотбора

Режим пассивного пробоотбора используют для определения среднего значения объемной активности радона за продолжительное (несколько суток) время экспонирования адсорбера. В начале экспонирования адсорбер достают из кюветы и размещают в вертикальном положении маркировкой вверх в выбранном в соответствии с разделом 8 месте. В течение суток в адсорбере устанавливается динамическое равновесие содержания радона, которое пропорционально средней объемной активности радона в окружающем воздухе. Адсорберы экспонируют в течение 1–5 суток, при этом оптимальное для определения среднего значения объемной активности время экспонирования составляет от 3 до 4 суток. По окончании экспонирования адсорбер помещают в кювету и герметично закрывают крышкой, на этикетке которой продублирована маркировка адсорбера.

#### 8.1.3 Активный режим пробоотбора

Активный режим пробоотбора используют для определения «мгновенного» значения объемной активности радона за короткое (десятки минут) время отбора воздуха на адсорбер путем принудительной аспирации.

Для проведения активного пробоотбора в месте обследования адсорбер достают из измерительной кюветы и соединяют посредством специальной насадки (Приложение Б) с пробоотборником воздуха.

Согласно руководству по эксплуатации пробоотборник воздуха ПВП готовят к работе и устанавливают объемный расход воздуха через адсорбер согласно техническим характеристикам последнего (таблица А2 Приложения А).

Для обеспечения требований МВИ по разделу 2 время пробоотбора должно быть не менее 30 мин.

После окончания пробоотбора адсорбер отсоединяют от пробоотборника и помещают в измерительную кювету, которую закрывают герметичной крышкой, на этикетке которой продублирована маркировка адсорбера.

#### 8.1.4 Подготовка адсорбера к выполнению измерений на гамма-радиометре

После окончания пробоотбора закрытые кюветы с адсорберами направляют в лабораторию для радиометрии.

При пробоотборе в адсорбере поглощается только радон. Гамма-активность адсорбера с момента начала пробоотбора увеличивается за счет образования ДПР свинца-214 и висмута-214 до достижения радиоактивного равновесия с поглощенным радоном.

Рекомендуемое после окончания активного пробоотбора время до начала радиометрических измерений составляет от 3 до 4 часов для накопления максимальной гамма-активности ДПР в адсорбере. После проведения пассивного пробоотбора радиометрию адсорберов следует выполнять с минимально возможным временем задержки.

### 8.2 Подготовка и проведение пробоотбора для измерения ЭРОА радона

Пробоотбор при проведении измерений ЭРОА предназначен для принудительного осаждения аэрозольной фракции ДПР из воздуха на фильтрующий материал адсорбера с заданным по таблице А2 Приложения А объемным расходом воздуха при известном коэффициенте улавливания аэрозолей. При пробоотборе заполняют Протокол с указанием сведений в соответствии с Приложением В.

#### 8.2.1 Подготовка адсорбера

Подготовка адсорбера к пробоотбору включает проверку состояния аэрозольного фильтра. Состояние аэрозольного фильтра проверяют путем его осмотра при снятой



внешней стенке адсорбера. При наличии повреждений и в случае загрязненности поверхности фильтра его следует заменить.

#### 8.2.2 Проведение пробоотбора

При пробоотборе на адсорбер для измерения ЭРОА улавливается только аэрозольная фракция ДПР. Операции при проведении пробоотбора воздуха на адсорбер с аэрозольным фильтром аналогичны активному режиму по пункту 8.1.3. Время пробоотбора – 30 мин.

Гамма-активность адсорбера с момента начала пробоотбора обуславливается улавливанием и распадом полония-218 с накоплением свинца-214, улавливанием и распадом свинца-214 с накоплением висмута-214, улавливанием и распадом висмута-214. После прекращения пробоотбора активность адсорбера быстро уменьшается вследствие распада короткоживущих ДПР  $Po-218 \rightarrow Pb-214 \rightarrow Bi-214$  с временами полураспада 3,05 мин, 26,8 мин, 19,7 мин, соответственно.

#### 8.2.3 Подготовка адсорбера к проведению измерений на гамма-радиометре

По окончании пробоотбора адсорбер отсоединяют от пробоотборника и помещают в измерительную кювету, после чего кювету устанавливают на блок детектирования подготовленного для измерений радиометра.

### 8.3 Подготовка гамма-радиометров к выполнению измерений

#### 8.3.1 Подготовка гамма-радиометра РКГ-АТ1320 и дозиметра-радиометра МКС-АТ1125 к выполнению измерений объемной активности радона

Приборы готовят к работе в лабораторных условиях в соответствии с руководством по эксплуатации на них.

#### 8.3.2 Подготовка гамма-радиометра РКГ-АТ1320 к выполнению измерений ЭРОА радона

Гамма радиометр РКГ-АТ1320 готовят к работе на месте проведения пробоотбора после его транспортировки без блока защиты и установки блока детектирования на подставку по Приложению Б. Подготовку радиометра к работе и проверку его работоспособности проводят в соответствии с руководством по эксплуатации с использованием контрольной пробы.

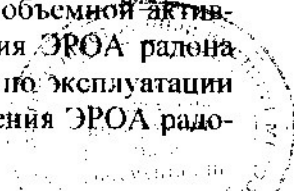
## 9 ВЫПОЛНЕНИЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Выполнение радиометрических измерений включает измерение фоновых характеристик, градуировочные измерения и определение в адсорберах сорбированного радона и уловленных ДПР

### 9.1 Измерение фоновых характеристик

Измерение фоновых характеристик радиометров включает градуировочные и текущие (рабочие) измерения фоновой скорости счета для реализации МВИ в части определения объемной активности радона, а также накопление градуировочного и рабочего фоновых спектров для реализации МВИ в части определения ЭРОА радона.

Градуировочные и рабочие фоновые измерения для определения объемной активности и накопление градуировочного фонового спектра для определения ЭРОА радона проводят в стационарных лабораторных условиях согласно руководству по эксплуатации гамма-радиометра. Накопление рабочего фонового спектра для определения ЭРОА радо-





на проводят на месте и во время пробоотбора продолжительностью не менее 30 мин непосредственно перед началом определения активности ДПР в адсорбере согласно руководству по эксплуатации гамма-радиометра в режиме работы со спектрами.

Требования к измерению градуировочных фоновых характеристик приведены в Приложении Г.

## 9.2 Градуировочные измерения

Градуировочные измерения проводят в соответствии с Приложением Г при первичной подготовке к реализации МВИ и с периодичностью проверки градуировочных характеристик не более 1 года. В межповерочный интервал рекомендуется ежеквартально контролировать сохранность градуировочных характеристик на МАСН.

Для градуировки используют аттестованные МАСН в геометрии измерительных кювет радиометров, содержащие адсорбер с известным содержанием радия-226 и его равновесных дочерних продуктов. Рекомендуемые значения активности  $Q_0$  МАСН для прибора РКГ-АТ1320:  $(10 \pm 5)$  Бк,  $(250 \pm 75)$  Бк,  $(750 \pm 200)$  Бк; для прибора МКС-АТ1125:  $(25 \pm 5)$  Бк,  $(400 \pm 100)$  Бк,  $(750 \pm 200)$  Бк. Погрешность аттестации МАСН по равновесному радю-226  $\delta Q_0$  не должна превышать  $\pm 15\%$  при доверительной вероятности 0,95.

## 9.3 Определение радона в адсорберах

9.3.1 Радон в адсорберах определяют по результатам его радиометрии в состоянии радиоактивного равновесия с ДПР.

9.3.2 Радиометрию радона в адсорберах проводят после их доставки в лабораторию с промежутком времени не более 8 часов после окончания пробоотбора, чтобы избежать снижения точности измерений из-за распада сорбированного радона. В тех случаях, когда ожидаемая в пунктах наблюдения активность не менее  $100 \text{ Бк/м}^3$ , временной интервал от окончания экспонирования до начала радиометрических измерений может быть увеличен.

9.3.3 Активность радона в адсорбере  $\tilde{Q}_a$  рассчитывают в соответствии с установленным по разделу Г1 Приложения Г градуировочным параметром  $S$  по формуле:

$$\tilde{Q}_a = \frac{I_a - \bar{I}_\phi}{S}, \quad (9.1)$$

где  $I_\phi$  и  $I_a$  - измеренные скорости счета импульсов от фона и адсорбера, с;

$S$  - градуировочный параметр (чувствительность радиометра к радону в адсорбере),  $\text{с}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$ .

Время накопления счетных импульсов от фона  $T_\phi$  и адсорбера  $T_a$  должно обеспечивать статистическую погрешность  $\delta I_{pc}$  измерений разностной скорости счета

$I_p = I_a - I_\phi$  не более 5 %.

## 9.4 Определение дочерних продуктов радона в адсорберах

9.4.1 Чтобы избежать потерь активности уловленных короткоживущих ДПР, радиометрию адсорберов проводят непосредственно на месте пробоотбора с промежутком времени не более 2 мин после прекращения прокачки воздуха.

9.4.2 Содержание уловленных в адсорбере ДПР определяют по числу счетных импульсов, регистрируемых в выделенных участках энергетического спектра гамма-излучения свинца-214 и висмута-214. Числа счетных импульсов находят путем накопления и вычитания рабочего и фонового спектров в выделенных энергетических участках в соответствии с разделом Д3 Приложения Л.

9.4.3 Продолжительность последовательного накопления фонового и рабочего спектров должна составлять 30 и 15 мин соответственно



## 10 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

### 10.1 Обработка результатов измерений объемной активности радона

Обработка результатов измерений объемной активности радона включает расчеты среднего значения объемной активности в воздухе за время экспонирования адсорбера в пассивном режиме по пункту 8.1.2 и «мгновенного» значения объемной активности в воздухе за время активного пробоотбора по пункту 8.1.3.

10.1.1 Расчет среднего значения объемной активности  $\bar{A}_{Rn}$  выполняют по формуле

$$\bar{A}_{Rn} = \frac{\tilde{Q}_{an} \exp(\lambda t)}{V_s}, \quad (10.1)$$

где  $\tilde{Q}_{an}$  - результат определения активности радона в адсорбере при пассивном пробоотборе, Бк;

$\lambda$  - постоянная распада радона, равная  $0,00755 \text{ ч}^{-1}$ ;

$t$  - интервал времени от окончания пробоотбора до начала радиометрии поглощенного в адсорбере радона, ч;

$V_s$  - объемный эквивалент адсорбера,  $\text{м}^3$ .

Величина объемного эквивалента  $V_s$  соответствует объему воздуха, из которого адсорбер способен поглотить весь содержащийся радон, в результате чего приобретет активность  $Q_{an} = V_s$  на единицу активности радона  $\bar{A}_{Rn}$ .

Значение объемного эквивалента  $V_s$  является технической характеристикой адсорбера и зависит от его конструктивных параметров, марки и массы сорбента.

10.1.2 Расчет «мгновенного» значения объемной активности  $A_{Rn}$  выполняют по формуле

$$A_{Rn} = \frac{\tilde{Q}_{aa} \exp(\lambda t)}{K_n v t_{np}}, \quad (10.2)$$

где  $\tilde{Q}_{aa}$  - результат определения активности радона в адсорбере при активном пробоотборе, Бк;

$v$  - объемный расход воздуха через адсорбер при активном пробоотборе,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$K_n$  - коэффициент поглощения (улавливания) радона, отн.ед.;

$t_{np}$  - продолжительность активного пробоотбора, мин.

$\lambda$  - постоянная распада радона, равная  $0,00755 \text{ ч}^{-1}$ ;

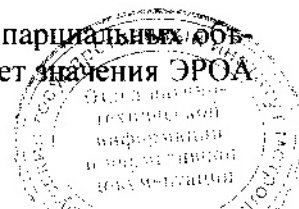
$t$  - интервал времени от окончания пробоотбора до начала радиометрии поглощенного в адсорбере радона, ч;

Величина коэффициента поглощения равна отношению активности радона, поглощенного в адсорбере  $Q_{aa}$  к активности радона  $Q_{ba}$ , поступившего на адсорбер при прокачке воздуха:  $K_n = Q_{aa}/Q_{ba}$ .

Значение коэффициента поглощения (улавливания) радона  $K_n$  является технической характеристикой адсорбера и зависит от его конструктивных параметров, марки и массы сорбента.

### 10.2 Обработка результатов измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона

Обработка результатов измерения ЭРОА включает определение парциальных объемных активностей ДПР полония-218, свинца-214 и висмута-214 и расчет значения ЭРОА в воздухе за время пробоотбора по пункту 8.2.2.



10.2.1 Парциальные объемные активности ДПР в воздухе определяют в соответствии с Приложением Д путем обработки результатов радиометрии ДПР в адсорбере, полученных по подразделу 9.4.

10.2.2 Результат измерения ЭРОА рассчитывают по формуле

$$A_{ЭРОА} = (0,104 A_1 + 0,514 A_2 + 0,382 A_3), \quad (10.3)$$

где  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  - парциальные объемные активности ДПР полония-218; свинца-214 и висмута-214, Бк/м<sup>3</sup>.

## 11 КОНТРОЛЬ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

11.1. Контроль погрешности измерений, регламентированной настоящей МВИ, проводят на аттестованных МАСН по подразделу 9.2.

11.2 Контроль погрешности проводят путем сравнения результатов измерения объемной активности и (или) расчета ЭРОА радона по МВИ с данными, указанными в свидетельстве об аттестации МАСН. Сравнение проводят в условиях равновесного содержания радона и его дочерних продуктов при единичном значении параметров пробоотбора по разделу 10:  $V_p$ ,  $K_n v t_{np}$  и по Приложению Д:  $w = 1$  за время пробоотбора  $T$ .

11.3. Результат контроля считают положительным, если выполняется условие

$$\left| \frac{A_u K_m - Q_0}{Q_0} \right| \cdot 100 = \left| \frac{Q_u - Q_0}{Q_0} \right| \cdot 100 \leq \sqrt{(\delta_u^2) + (\delta_0^2)} \quad (11.1)$$

где  $A_u$  - результат измерения объемной активности или определения ЭРОА радона по МВИ, Бк/м<sup>3</sup>;

$K_m$  - параметр ( $V_p$ ,  $K_n v t_{np}$  или  $wT$ ) пробоотбора, равный 1 м<sup>3</sup>;

$Q_u$  - результат измерения активности радона, содержащегося в МАСН по МВИ, Бк;

$Q_0$  - аттестованное значение активности радона, указанное в свидетельстве об аттестации МАСН, Бк;

$\delta_0$  - погрешность аттестации МАСН, указанная в свидетельстве об аттестации, %;

$\delta_u$  - основная погрешность измерения активности радона, регламентированная настоящей МВИ, %.

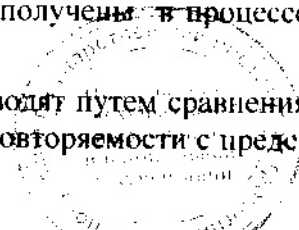
11.4 При отрицательных результатах контроля должны быть выявлены причины несоответствия и приняты меры по устранению недостатков, после чего, должен быть проведен повторный контроль погрешности МВИ и, при необходимости, пересмотр МВИ.

11.5 Периодичность контроля не реже 1-го раза в год.

11.6 В процессе внутреннего оперативного контроля в соответствии с СТБ ИСО 5725-6 определяют соответствие результатов измерений пределам повторяемости и воспроизводимости.

Пределы повторяемости и промежуточной прецизионности получены в процессе обработки результатов при проведении экспертизы методики.

11.6.1 Контроль повторяемости результатов измерений проводят путем сравнения результатов двух параллельных измерений активности в условиях повторяемости с пределом повторяемости  $r$ , указанным в Таблице 1.





Повторяемость результатов параллельных измерений признают удовлетворительной, если

$$d_k = \frac{|Q_{u1} - Q_{u2}| \cdot 100}{Q_{u\text{cp}}} \leq r, \quad (11.2)$$

где  $Q_{u1}$  – первый результат из 2-х параллельных измерений, Бк;

$Q_{u2}$  – второй результат из 2-х параллельных измерений, Бк;

$Q_{u\text{cp}}$  – средний результат из 2-х параллельных измерений, Бк;

$r$  – предел повторяемости, % (Таблица 1, 2 или 3)

Если  $d_k > r$ , необходимо провести повторное измерение. В случае повторного превышения указанного норматива необходимо выяснить и устранить причины, приводящие к неудовлетворительным результатам.

Таблица 1 Критерии для контроля точности результатов измерений на РКГ-АТ1320, полученные в процессе аттестации методики.

Измеряемая величина	Диапазон измерения	Характеристики прецизионности			
		Стандартное отклонение повторяемости, $\sigma_p$ , Бк/м <sup>3</sup>	Стандартное отклонение воспроизводимости, $\sigma_R$ , Бк/м <sup>3</sup>	Предел повторяемости, $r$ , %	Предел воспроизводимости, $R$ , %
Объемная активность радона-222, Бк/м <sup>3</sup>	от 20 до 100	0,94	1,58	25,0	42,0
	от 100 до 200	2,44	12,30	3,2	16,3
	свыше 200	3,46	8,06	1,3	3,0

Таблица 2 Критерии для контроля точности результатов измерений на МКС-АТ1125, полученные в процессе аттестации методики.

Измеряемая величина	Диапазон измерения	Характеристики прецизионности			
		Стандартное отклонение повторяемости, $\sigma_p$ , Бк/м <sup>3</sup>	Стандартное отклонение воспроизводимости, $\sigma_R$ , Бк/м <sup>3</sup>	Предел повторяемости, $r$ , %	Предел воспроизводимости, $R$ , %
Объемная активность радона-222, Бк/м <sup>3</sup>	от 20 до 100	2,3	2,4	25,6	26,6
	от 100 до 400	6,1	18,1	4,0	12,0
	свыше 400	10,2	17,0	3,8	6,4



Таблица 3 Критерии для контроля точности результатов определения ЭРОА на РКГ-АТ1320, полученные в процессе аттестации методики.

Определяемая величина	Диапазон измерения	Характеристики прецизионности			
		Стандартное отклонение, повторяемости, $\sigma_r$ , Бк/м <sup>3</sup>	Стандартное отклонение воспроизводимости, $\sigma_R$ , Бк/м <sup>3</sup>	Предел повторяемости, $r$ , %	Предел воспроизводимости, $R$ , %
ЭРОА радона-222, Бк/м <sup>3</sup>	от 50 до 100	2,8	3,0	14,0	15,0
	от 100 до 300	2,6	10,5	3,0	14,0
	свыше 300	2,6	12,1	2,0	5,0

11.6.2 Контроль воспроизводимости результатов анализа. Результат контроля воспроизводимости признают удовлетворительным, если выполняется условие:

$$D_k = \frac{|Q_{об1} - Q_{об2}| \cdot 100}{Q_{об\text{ср}}} \leq R, \quad (11.3)$$

где  $Q_{об1}$  – результат измерения активности МАСН, Бк;

$Q_{об2}$  – результат измерения активности МАСН через несколько дней, Бк;

$Q_{об\text{ср}}$  – средний результат из 2-х измерений, Бк;

$R$  – предел воспроизводимости, % (Таблица 1, 2 или 3)

Если  $D_k > R$ , то МАСН подлежит повторному измерению. В случае повторного превышения указанного норматива необходимо выяснить и устранить причины, приводящие к неудовлетворительным результатам.

## 12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты определения объемной активности и ЭРОА радона в воздухе представляют в виде:

$$\bar{A}_{Rn} = \bar{A}_{Rn} \pm \Delta$$

$$A_{Rn} = A_{Rn} \pm \Delta$$

$$A_{\text{Э}} = A_{\text{Э}} \pm \Delta,$$

где  $\bar{A}_{Rn}$  – среднее значение объемной активности радона, Бк/м<sup>3</sup>;

$A_{Rn}$  – «мгновенное» значение объемной активности радона, Бк/м<sup>3</sup>.



$\Delta$  - погрешность МВИ объемной активности радона, Бк/м<sup>3</sup> с доверительной вероятностью  $P=0,95$ ;

$A_3$  - результат расчета ЭРОА радона, Бк/дм<sup>3</sup>;

$\Delta_3$  - погрешность МВИ ЭРОА радона, Бк/м<sup>3</sup> с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ .

Результаты определения объемной активности и ЭРОА радона в воздухе оформляются в Протоколе с указанием сведений по Приложению В.

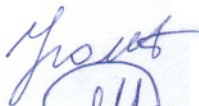
Разработчики:

Ведущий научный сотрудник



О.М.Аншаков

Ведущий научный сотрудник



И.И.Уголев

Доцент



М.Д.Дежурко



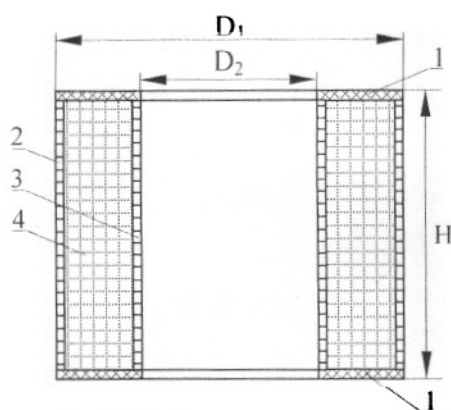


## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

### АДСОРБЕР

А1 Адсорбер является элементом улавливания радона или ДПР в системе пробоотбора для измерения объемной активности и ЭРОА радона в воздухе помещений с использованием сцинтилляционных гамма-радиометров. Адсорбер изготавливается в геометрии штатных измерительных кювет радиометров РКГ-АТ1320, МКС-АТ1125 и представляет собой скрепленную торцевыми крышками коаксиальную перфорированную металлическую оболочку (картридж) с помещенным внутри сорбционным или фильтрующим материалом. Устройство адсорбера поясняется рисунком А1. Картриджи для радиометров РКГ-АТ1320 и МКС-АТ1125 идентичны по конструкции и отличаются размерами, приведенными в таблице А2. Технические характеристики адсорбера в зависимости от его назначения приведены в таблице А1. В качестве поглотителей радона применяется сорбент углеродный тканевый АУТ-М по ТУ РБ 00204056.076-99 или материал угольноволокнистый сорбционно-фильтрующий БУСОФИТ по ТУ РБ 00204056-108-95 Для улавливания ДПР используется волокнистый фильтрующий материал - ткань Петрянова ФПП по ТУ 6-16-2813-84.



- 1 – крышка;  
 2 – внешняя перфорированная стенка;  
 3 – внутренняя перфорированная стенка;  
 4 – сорбционный/фильтрующий материал.

Рисунок А1 – Адсорбер

Таблица А1 – Газмеры картриджа

Тип радиометра	Внешний диаметр $D_1$ , мм	Внутренний диаметр $D_2$ , мм	Высота $H$ , мм
РКГ-АТ1320	125	82	99
МКС-АТ1125	95	44	68

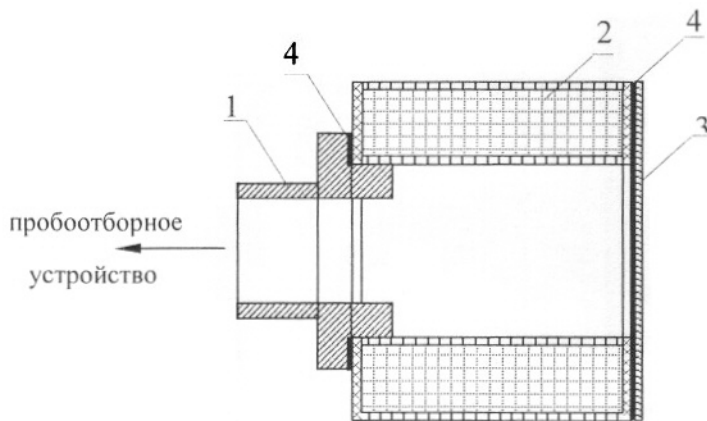
Таблица А2 – Технические характеристики адсорбера

Тип радиометра, назначение	Тип сорбционно-фильтрующего материала	Масса сорбента, г	Номинальное значение		
			объемный эквивалент, $m^3$	коэффициент улавливания, не менее отн.ед.	объемный расход воздуха, $dm^3/min$
1 РКГ-АТ1320 1.1 Измерение объемной активности радона	АУТ-М	115	$0,7 \pm 0,1$	0,30	50
		230	$1,0 \pm 0,2$	0,40	
	БУСОФИТ	150	$1,2 \pm 0,2$	0,98	
1.2 Измерение ЭРОА радона	ФПП	-	-	0,90	30
2 МКС-АТ-1125 2.1 Измерение объемной активности радона	АУТ-М	150	$0,7 \pm 0,1$	0,30	50
	БУСОФИТ		$1,0 \pm 0,2$		



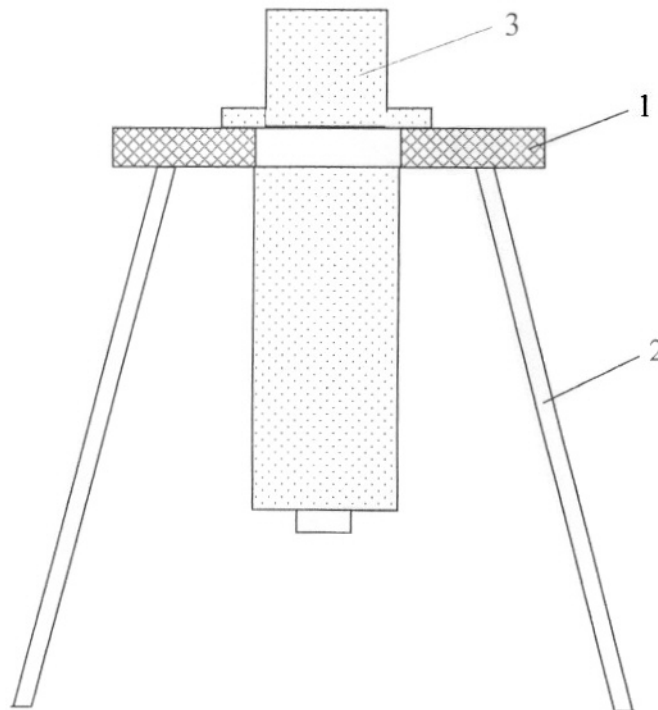
**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
(обязательное)

**ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**



- 1 – насадка с резьбой для подсоединения к пробоотборному устройству;
- 2 – адсорбер;
- 3 – заглушка;
- 4 – уплотнительная прокладка.

Рисунок Б1 – Насадка в сборе с адсорбером для соединения с пробоотборником воздуха



- 1 – основание подставки;
- 2 – ножка (3 шт.);
- 3 – блок детектирования;

Рисунок Б2 – Подставка (тренога) для блока детектирования радиометра РКГ-АТ1320





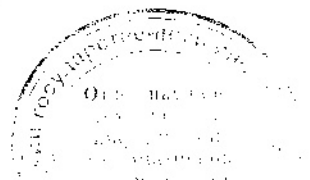
**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
(справочное)  
**Содержание протокола пробоотбора и измерений**

**В1** Операции пробоотбора протоколируют с указанием следующей информации:

- В1.1 Сведения об обследуемом объекте (наименование, адрес, назначение).
- В1.2 Дата проведения пробоотбора с указанием режима (активный, пассивный).
- В1.3 Условия проведения пробоотбора (температура и относительная влажность в помещении).
- В1.4 Параметры активного пробоотбора (продолжительность, объемный расход воздуха).

**В2** Результаты измерений протоколируют с указанием следующей информации:

- В2.1 Сведения о средствах измерений (СИ) (наименование, заводской номер, сведения о поверке).
- В2.2 Дата и время проведения измерений
- В2.3 Средняя за время экспозиции объемная активность радона при проведении пробоотбора и погрешность измерения.
- В2.4 Объемная активность радона при проведении активного пробоотбора и погрешность измерения
- В2.5 Эквивалентная равновесная объемная активность радона и погрешность измерения.
- В.2.6 Должность, фамилия и инициалы оператора, проводившего пробоотбор и измерения.



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г (рекомендуемое)

### Градуировка гамма-радиометров

Градуировку гамма-радиометров выполняют с целью их применения в настоящей МВИ. Результаты градуировки могут быть использованы для адаптирования базовых радиометров РКГ-АТ1320 и МКС-АТ1125 к реализации МВИ путем целевого модифицирования встроенного программного обеспечения.

Г1 Градуировка гамма-радиометров РКГ-АТ1320 и МКС-АТ1125 для измерения объемной активности радона

Градуировочную характеристику (ГХ) радиометра устанавливают в виде линейной зависимости измеренной скорости счета импульсов  $I_a$  от активности  $Q_a$  равновесного радона в подготовленном к измерениям адсорбере

$$I_a - \bar{I}_a = S(Q_a - \bar{Q}_a), \quad (\text{Г1})$$

где  $S$  - чувствительность радиометра при измерении активности радона в адсорбере;

$\bar{I}_a$ ,  $\bar{Q}_a$  - средние значения координат ГХ, как параметры прямой линии (Г1), определяемые по методу наименьших квадратов (МНК).

Градуировочные и фоновые измерения на РКГ-АТ1320 выполняют в режиме определения интегральной скорости счета в аппаратурном диапазоне каналов от 1 до 512.

Градуировочные измерения на МКС-АТ1125 выполняют в режиме дозиметра («F1») с использованием подрежима «4» для измерения средней скорости счета. Соответственно в этом же режиме должна быть определена скорость счета фоновых импульсов.

Параметры ГХ (Г1) устанавливают по результатам измерений скоростей счета радиометра  $I_j$  от МАСН  $j$  активностью  $Q_{oj}$  в следующем порядке:

1) с использованием фонового адсорбера измеряют собственный фон радиометра  $I_\phi$  с относительной статистической погрешностью  $\delta_\phi$  для радиометров РКГ-АТ1320 не более  $\pm 1\%$  и МКС-АТ1125 – не более  $\pm 2\%$ , исходя из условия для времени измерения фона  $T_\phi \geq 1/I_\phi \delta_\phi^2$ .

2) последовательно измеряют скорости счета  $I_j$  от МАСН ( $j = 1, 2, 3$ ) за время измерения  $T_u = T_\phi$ ;

3) определяют разностные скорости счета  $I_{oj}$  по формуле

$$I_{oj} = I_j - I_\phi \quad (\text{Г2})$$

4) определяют параметры  $\bar{I}_a$ ,  $\bar{Q}_a$  и  $S$  по формулам МНК для неравноточных измерений со статистическими весами  $\omega_j$ , обратно пропорциональными дисперсиям:

$$\omega_j^{-1} = \sigma_j^2 = (I_{oj} + I_\phi) / T_u$$

$$\bar{I}_a = \frac{\sum I_{oj} \omega_j}{\sum \omega_j}, \quad (\text{Г3})$$

$$\bar{Q}_a = \frac{\sum Q_{oj} \omega_j}{\sum \omega_j}$$



$$S = \frac{\overline{I_a Q_a} - \bar{I}_a \cdot \bar{Q}_a}{Q_a^2 - (\bar{Q}_a)^2}$$

где  $\bar{Q}_a^2 = \frac{\sum Q_{oj}^2 \omega_j}{\sum \omega_j}$ ,  $\bar{I}_a \cdot \bar{Q}_a = \frac{\sum I_{oj} Q_{oj} \omega_j}{\sum \omega_j}$ .

5) определяют пороговый уровень эквивалентного фона радиометра  $Q_{\phi m}$  за время измерения фона  $T_\phi$  по формуле

$$Q_{\phi m} = \frac{1}{S} \left( I_\phi + 2 \sqrt{\frac{I_\phi}{T_\phi}} \right)$$

Проверку соответствия основной относительной погрешности измерения активности радона в адсорбере требованиям МВИ определяют следующим образом:

1) для каждого МАСН активностью  $Q_{oj}$  определяют относительную разность с радиометрическими показаниями  $\tilde{Q}_{aj}$  в процентах по формуле

$$\delta_j = \frac{|\tilde{Q}_{aj} - Q_{oj}|}{Q_{oj}} \cdot 100\%$$

2) в качестве основной погрешности  $\delta_j$  принимается максимальное из значений

$$\delta Q_a = \max \{ \delta_j + \delta Q_{oj} \} \quad (Г8)$$

Критерием оценки соответствия ХП радиометра требованиям МВИ по основной погрешности является соблюдение следующих условий:  $\delta Q_a \leq 25\%$ , а абсолютное значение разности между любыми значениями  $\delta_j$  не превышает  $(2|\delta Q_a| + |\delta Q_o|)$ .

Г2 Градуировка гамма-радиометра РКГ-АТ1320 для измерения ЭРОА радона.

Градуировочные измерения выполняют с блоком защиты в лабораторных условиях в режиме работы со спектрами.

ГХ устанавливают в виде линейных зависимостей текущих скоростей счета импульсов  $I_i$ , обусловленных ДПР Pb-214 ( $j = 2$ ) и Bi-214 ( $j = 3$ ) в выделенных измерительных окнах «свинца» ( $i = 2$ ) и «висмута» ( $i = 3$ ) аппаратного спектра радиометра:

$$\begin{cases} I_3 = S_{33}Q_3 + I_{\phi 3} \end{cases} \quad (Г9.1)$$

$$\begin{cases} I_2 = S_{23}Q_3 + S_{22}Q_2 + I_{\phi 2} \end{cases} \quad (Г9.2)$$

где  $S_{ij}$  - чувствительность радиометра к радионуклиду  $j$  в измерительном окне  $i$ ;

$I_{\phi i}$  - фоновая скорость счета импульсов в окне  $i$ .

В ходе градуировки по набранным аппаратурным спектрам фона и МАСН определяют нижние  $E_{ni}$  и верхние  $E_{ai}$  границы окон измерения  $i$ , а также значения чувствительностей  $S_{ij}$ .

При этом следует иметь в виду то, что короткоживущие гамма-излучающие изотопы Pb-214 и Bi-214 могут существовать длительное время только совместно, как равно-весные ДПР в цепи распада Ra-226 в МАСН. Из-за этого обстоятельства то спектрам МАСН может быть определена только суммарная чувствительность  $S_2 = S_{23} + S_{22}$  при  $Q_2 = Q_3$  - что недостаточно для измерения отдельных активностей указанных ДПР в не-



равновесном состоянии, когда  $Q_3 \neq Q_2$ . Для оценки вклада высокоэнергетичного излучения висмута-214 в часть аппаратурного спектра, соответствующего регистрации излучения свинца-214 (окно «свинца»), используется дополнительная МАСН активностью не менее 500 Бк с радионуклидом Cs-137, энергия гамма-излучения которого 661 кэВ с наибольшим соответствием (среди долгоживущих радионуклидных источников моноэнергетического гамма-излучения) отвечает энергии излучения висмута-214 равной 609 кэВ.

Градуировку выполняют в следующем порядке:

1) измеряют спектр собственного фона радиометра за время не менее  $T_{\phi} = 3$  ч.  
 2) проводят набор аппаратурного гамма-спектра на МАСН активностью не менее 500 Бк из комплекта по разделу 3 за время  $T_u = T_{\phi}$ .

3) вычитая из аппаратурного гамма-спектра МАСН Ra-226 фоновый спектр, определяют разностный градуировочный спектр радия-226.

4) на разностном аппаратурном градуировочном спектре выделяют два наиболее информативных участка, соответствующих регистрации гамма-излучения с энергиями от 0,242 до 0,352 МэВ для свинца-214 и 0,609 МэВ для висмута-214.

5) по краям выделенных участков спектра устанавливают аппаратурные границы  $E_{ni}$  и  $E_{oi}$  окон измерения «висмута» ( $i = 3$ ) и «свинца» ( $i = 2$ );

6) в режиме интегрирования радиометра в окнах  $i = 2, 3$  по фоновому и разностному градуировочному спектрам определяют скорости счета импульсов  $I_{\phi i}$  и  $I_i$ ;

7) определяют значение чувствительности радиометра  $S_{33}$  в окне «висмута» ( $i = 3$ ) к радионуклиду Bi-214 ( $j = 3$ ) по формуле

$$S_{33} = \frac{I_3 - I_{\phi 3}}{Q_o} \quad (Г10)$$

8) определяют значение суммарной чувствительности радиометра  $S_2$  в окне «свинца» к радионуклидам Pb-214 и Bi-214 в их равновесной смеси по формуле

$$S_2 = \frac{I_2 - I_{\phi 2}}{Q_o} \quad (Г11)$$

9) проводят набор амплитудного гамма-спектра на МАСН с Cs-137 за время  $T_u = T_{\phi}$  и вычитая из него фоновый спектр, определяют разностный градуировочный спектр цезия-137.

10) на разностных градуировочных спектрах радия-226 и цезия-137 определяют номера каналов  $N_R$  и  $N_C$ , соответствующие центроидам пиков полного поглощения (ППП) для энергий гамма-квантов  $E_R = 609$  кэВ и  $E_C = 661$  кэВ.

11) из системы линейных уравнений (Г12.1, Г12.2) с параметрами наклона  $a$  и начала  $E_o$  энергетической градуировочной характеристики радиометра

$$\begin{cases} E_R = aN_R + E_o & (Г12.1) \\ E_C = aN_C + E_o & (Г12.2) \end{cases}$$

определяют коэффициент преобразования аппаратурного спектра цезия-137 с центроидой ППП в канале  $N_C$  в эквивалентное ему амплитудное распределение импульсов с центроидой ППП в канале  $N_R$  по формуле

$$C = \frac{N_R}{N_C} = \frac{E_R - E_o}{E_C - E_o}$$





равновесном состоянии, когда  $Q_3 \neq Q_2$ . Для оценки вклада высокоэнергетического излучения висмута-214 в часть аппаратурного спектра, соответствующего регистрации излучения свинца-214 (окно «свинца»), используется дополнительная МАСН активностью не менее 500 Бк с радионуклидом Cs-137, энергия гамма-излучения которого 661 кэВ с наибольшим соответствием (среди долгоживущих радионуклидных источников моноэнергетического гамма-излучения) отвечает энергии излучения висмута-214 равной 609 кэВ.

Градуировку выполняют в следующем порядке:

- 1) измеряют спектр собственного фона радиометра за время не менее  $T_\phi = 3$  ч.
- 2) проводят набор аппаратурного гамма-спектра на МАСН активностью не менее 500 Бк из комплекта по разделу 3 за время  $T_u = T_\phi$ .
- 3) вычитая из аппаратурного гамма-спектра МАСН Ra-226 фоновый спектр, определяют разностный градуировочный спектр радия-226.
- 4) на разностном аппаратурном градуировочном спектре выделяют два наиболее информативных участка, соответствующих регистрации гамма-излучения с энергиями от 0,242 до 0,352 МэВ для свинца-214 и 0,609 МэВ для висмута-214.
- 5) по краям выделенных участков спектра устанавливают аппаратурные границы  $E_{ni}$  и  $E_{mi}$  окон измерения «висмута» ( $i = 3$ ) и «свинца» ( $i = 2$ );
- 6) в режиме интегрирования радиометра в окнах  $i = 2,3$  по фоновому и разностному градуировочному спектрам определяют скорости счета импульсов  $I_{\phi i}$  и  $I_i$ ;
- 7) определяют значение чувствительности радиометра  $S_{33}$  в окне «висмута» ( $i = 3$ ) к радионуклиду Bi-214 ( $j = 3$ ) по формуле

$$S_{33} = \frac{I_3 - I_{\phi 3}}{Q_o} \quad (Г10)$$

- 8) определяют значение суммарной чувствительности радиометра  $S_2$  в окне «свинца» к радионуклидам Pb-214 и Bi-214 в их равновесной смеси по формуле

$$S_2 = \frac{I_2 - I_{\phi 2}}{Q_o} \quad (Г11)$$

- 9) проводят набор амплитудного гамма-спектра на МАСН с Cs-137 за время  $T_u = T_\phi$  и вычитая из него фоновый спектр, определяют разностный градуировочный спектр цезия-137.

- 10) на разностных градуировочных спектрах радия-226 и цезия-137 определяют номера каналов  $N_R$  и  $N_C$ , соответствующие центроидам пиков полного поглощения (ППП) для энергий гамма-квантов  $E_R = 609$  кэВ и  $E_C = 661$  кэВ.

- 11) из системы линейных уравнений (Г12.1, Г12.2) с параметрами наклона  $a$  и начала  $E_o$  энергетической градуировочной характеристики радиометра

$$\begin{cases} E_R = aN_R + E_o & (Г12.1) \\ E_C = aN_C + E_o & (Г12.2) \end{cases}$$

определяют коэффициент преобразования аппаратурного спектра цезия-137 с центроидой ППП в канале  $N_C$  в эквивалентное ему амплитудное распределение импульсов с центроидой ППП в канале  $N_R$  по формуле

$$C = \frac{N_R}{N_C} = \frac{E_R - E_o}{E_C - E_o}$$





12) на разностном аппаратном спектре цезия-137 выделяют два участка с эквивалентными энергетическими границами измерительных окон «висмута» ( $i = 3$ ) и «свинца»

$$(i = 2) E_{ni}, E_{ei} = \frac{E_{ni}}{C}, E_{ei} = \frac{E_{ei}}{C}.$$

13) в выбранных участках разностного спектра с эквивалентными границами  $E_{ni}$  и  $E_{ei}$  определяют интегральные скорости счета импульсов  $I_{33}$  и  $I_{22}$  и их отношение  $m_3 = I_{22}/I_{33}$ , которое принимают равным относительному вкладу излучения висмута-214 с энергией  $E = 609$  кэВ в измерительное окно «свинца», так что  $S_2 = S_{33}m_3 + S_{22} = S_{23} + S_{22}$ .

14) используя ранее полученные значения  $S_2$ ,  $S_{33}$ ,  $m_3$  определяют чувствительность радиометра  $S_{22}$  в окне «свинца» к радионуклиду Pb-214 по формуле

$$S_{22} = S_2 - m_3 S_{33} = S_{23} + S_{22} \quad (\Gamma 14)$$

15) проводят проверку соответствия основной погрешности  $\delta$  измерения активности ДПР  $Q_3$  и  $Q_2$  с использованием обратной ГХ характеристики преобразования радиометра

$$Q_3 = \frac{1}{S_{33}} [I_3 - I_{\phi 3}] \quad (\Gamma 15.1)$$

$$Q_2 = \frac{1}{S_{22}} [I_2 - I_{\phi 2} - m_3 (I_3 - I_{\phi 3})] \quad (\Gamma 15.2)$$

и результатов измерений скоростей счета  $I_i$ ,  $I_{\phi i}$  ( $i = 2, 3$ ) на МАСН с равновесным содержанием дочерних продуктов радия активностью  $Q_o = Q_2 = Q_3$  по формуле

$$\delta = \frac{|\tilde{Q}_3 - \tilde{Q}_2|}{Q_o} \cdot 100 \% \quad (\Gamma 16)$$

где  $\tilde{Q}_3$ ,  $\tilde{Q}_2$  - результаты измерения равновесных ДПР Pb-214 и Bi-214 в соответствии с ХП (Г14).

Критерием оценки соответствия ХП радиометра требованиям МВИ по основной погрешности является соблюдение условия  $\delta \leq 30 \%$ .

Значения основных метрологических характеристик радиометра:  $E_{ni}$ ,  $E_{ei}$ ,  $S_{ij}$  ( $i, j = 2, 3$ ), заносят в рабочий журнал и используют при измерениях до следующей градуировки.



**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
(рекомендуемое)

**Определение активности дочерних продуктов радона и ЭРОА с пробоотбором воздуха на адсорбер с аэрозольным фильтром**

Определение ЭРОА радона в воздухе заключается в улавливании за время активного пробоотбора ДПР волокнистым фильтрующим материалом, после чего производится накопление спектра гамма-излучения ДПР на фильтре, определение парциальных активностей ДПР в воздухе и расчет значения ЭРОА с оценкой статистической погрешности. Время активного улавливания ДПР используется для накопления рабочего фонового спектра. Алгоритм измерения ЭРОА состоит из следующих операций.

Д1 В течение времени  $T$  производится прокачка воздуха через адсорбер для улавливания ДПР и одновременное ( $T_{\phi} = T$ ) накопление рабочего спектра фонового гамма излучения.

Д2 Спустя незначительный промежуток времени  $\Delta T$  (не более 2 мин) после окончания прокачки воздуха через адсорбер, проводят однократное накопление за время  $T_p$  гамма-спектра от ДПР на фильтре.

Д3 По результатам накопления за время  $T_{\phi}$  рабочего фонового спектра определяют количество фоновых импульсов  $M_{2\phi}$  в окне  $i = 2$  и  $M_{3\phi}$  в окне  $i = 3$ , а также фоновые скорости счета  $I_{\phi 2}$  и  $I_{\phi 3}$  в этих окнах.

Д4 Измеряют общее количество  $M_i^*$  и определяют превышение над фоном  $M_i$  числа накопленных за время  $T_p$  в измерительных окнах  $i = 2, 3$  импульсов:  $M_i = M_i^* - I_{\phi i} T_p$ .

Д5 Для определения парциальных активностей ДПР  $A_1$  (Po-218),  $A_2$  (Pb-214),  $A_3$  (Bi-214) решают систему уравнений

$$\begin{cases} S_{22} w (G_{21} A_1 + G_{22} A_2) = M_2 - M_3 \frac{S_{23}}{S_{33}} \\ S_{33} w (G_{31} A_1 + G_{32} A_2 + G_{33} A_3) = M_3 \\ A_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \lambda_v} A_1 \\ A_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_3 + \lambda_v} A_2 \end{cases}, \quad (Д1)$$

Здесь участвуют задаваемый при пробоотборе параметр  $w = K_n v$ ; аппаратные параметры чувствительностей  $S_{ij}$ , определяемые при градуировке радиометра; константы  $G_{ij}$ , определяемые выбором времен  $T$  и  $T_p$  и известные при расчете; константы распада ДПР  $\lambda_2 = 4,31 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ ,  $\lambda_3 = 5,86 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ . Вспомогательный параметр воздухообмена  $\lambda_v$  определяется при решении системы Д1.

Д6 Система (Д1) решается относительно величин  $A_j$  методом последовательных приближений с использованием вспомогательной неизвестной  $\lambda_v$  в следующем порядке:

Д6.1 Принимая  $A_1 \approx A_2$ , рассчитывают первое приближение к величине  $A_2$  по формуле

$$A_2^{(1)} = \frac{M_2 - M_3 \frac{S_{23}}{S_{33}}}{S_{22} (G_{21} + G_{22}) w} \quad (Д2)$$

Д6.2 Рассчитывают первое приближение к величине  $A_3$  по формуле

