

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Методические указания к лабораторным
и практическим занятиям

Составитель О.П. Сидельникова



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2014

Волгоград
ВолгГАСУ
2014

УДК 691:539.16(076.5)
ББК 22.383я73+38.3я73
Р 153

Радиационный контроль и радиационная безопасность в строительной отрасли [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным и практическим занятиям / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. О. П. Сидельникова. — Электронные текстовые и графические данные (715 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. — Учебное электронное издание комбинированного распространения : 1 DVD-диск. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; 2-скоростной дисковод DVD-ROM; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Рассматриваются теоретические положения нормирования естественных радионуклидов в минералах, строительных материалах (изделиях). Приведены методы измерения мощности гамма-излучения на открытой местности и в зданиях, удельных активностей ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , эквивалентной объемной активности радона в воздухе помещений и потоков радона с эманлирующих поверхностей. Решаются практические задачи измерения и контроля в строительной отрасли для обеспечения радиационной безопасности населения.

Для студентов строительных вузов.

УДК 691:539.16(076.5)
ББК 22.383я73+38.3я73

Лабораторная работа № 1:
Определение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения
в зданиях и на территориях

Цель работы

Ознакомиться с конструкцией и изучить принцип работы дозиметров ДРГ-01-Т1, СРП-68-01.

Освоить методику определения мощности эквивалентной дозы внешнего излучения в помещениях и на открытой местности.

Теоретическая часть

Рентгеновское и γ -излучение, потоки α -частиц, электронов, позитронов, протонов и нейтронов называют ионизирующими излучениями, т.к. при прохождении через вещество они производят ионизацию его атомов и молекул [1].

Количественной мерой воздействия любого вида излучения на объект является доза. Различают экспозиционную X , поглощённую D , эквивалентную H и другие дозы, отражающие особенности влияния излучения на вещество. Экспозиционную, поглощённую и эквивалентную дозы можно определить опытным путём.

Радиационный фактор помещений рассматривается как один из основных видов лучевого воздействия окружающей среды на население, так как человек проводит большую часть своего времени внутри помещений. Вариабельность значений гамма-фона в жилых домах зависит от многих факторов, из которых можно выделить следующие:

- вид материала, используемого для производства строительного-монтажных работ, и концентрация естественных радионуклидов в нём;
- геометрия зданий (архитектурно-планировочное решение);
- плотность застройки улиц зданиями из различных материалов;
- гамма-фон близлежащих территорий и зданий.

Приборы, предназначенные для прямого измерения экспозиционной, поглощённой и эквивалентной доз или их мощности, называют дозиметрами. В основе работы этих приборов, в зависимости от их типа, лежат различные процессы, возникающие при взаимодействии ионизирующих излучений с веществом [2].

Экспозиционная доза

Экспозиционной дозой оценивают ионизирующее действие рентгеновского и γ -излучения (фотонного излучения) на воздух. К другим видам ионизирующего излучения и другим облучаемым объектам это понятие не применяется.

В воздухе под действием фотонного излучения образуются положительно и отрицательно заряженные ионы. Экспозиционная доза X - отношение суммарного электрического заряда dQ ионов одного знака, образующихся при торможении вторичных электронов, отщепленных фотонным излучением от атомов в элементарном объёме воздуха, к массе dm воздуха в этом объёме:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Единица измерения X в системе "СИ" - Кл/кг. При экспозиционной дозе 1 Кл/кг в 1 кг воздуха образуется суммарный заряд ионов одного знака, равный 1 Кл.

Внесистемная, широко распространённая единица экспозиционной дозы - рентген (Р). Рентген - экспозиционная доза, при которой в 1 кг облучаемого воздуха образуется суммарный заряд ионов одного знака $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$; $1 \text{ Кл/кг} = 3,85 \cdot 10^3 \text{ Р}$.

Мощность экспозиционной дозы - X' определяют как отношение приращения экспозиционной дозы dX за малый промежуток времени к его длительности dt :

$$X' = \frac{dX}{dt}$$

Единица мощности экспозиционной дозы (МЭД) в системе "СИ" – ампер на килограмм А/кг = Кл/(кг·с). Внесистемными, наиболее часто встречающимися единицами МЭД являются – Р/ч, Р/с, мР/ч, мкР/ч.

Поглощённая доза

Поглощённая доза (D) равна отношению средней энергии ионизирующего излучения (dE), поглощённой элементарным объёмом облучаемого вещества, к массе (dm) вещества в этом объёме:

$$D = \frac{dE}{dm} = \frac{dE}{\rho dV},$$

В единицах "СИ" поглощённая доза измеряется в греях (Гр). Грей - поглощённая доза излучения, при которой в 1 кг облучаемого вещества поглощается 1 Дж. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. Внесистемная единица поглощённой дозы - рад; $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$.

Мощность поглощённой дозы – D' определяют как отношение приращения поглощённой дозы dD за малый промежуток времени к его длительности dt [1]:

$$D' = \frac{dD}{dt}$$

Единица мощности поглощённой дозы в системе "СИ" - грей в секунду (Гр/с). В дозиметрии применяют также внесистемные единицы: рад/с, рад/ч, Гр/сут, мкГр/ч ($1 \text{ Гр/с} = 1 \cdot 10^2 \text{ рад/с}$).

Поглощённая доза для гамма-излучения связана с экспозиционной дозой соотношением: $1 \text{ Гр} \approx 2,58 \cdot 10^{-2} \text{ Кл/кг}$.

Поглощённая энергия идёт на нагрев вещества, возбуждение и ионизацию его атомов, другие физические, а также химические и биологические процессы, происходящие в веществе при облучении. В отличие от экспозиционной дозы понятие поглощённой дозы применимо при описании воздействия любых видов ионизирующего излучения на любое вещество.

Эквивалентная доза

Эквивалентная доза является количественной мерой опасности ионизирующих излучений для живых организмов. При одной и той же поглощённой дозе неблагоприятные биологические последствия оказываются разными для различных видов излучений. Эквивалентная доза (H) пропорциональна поглощённой дозе (D) [1]:

$$H = W_R \cdot D,$$

где W_R - взвешивающий коэффициент для излучения R . Значения W_R приведены в НРБ-99/2009 [3].

Единица эквивалентной дозы в системе "СИ" – зиверт (Зв). На практике дозиметрических измерений используется внесистемная единица эквивалентной дозы - бэр (биологический эквивалент рентгена), $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.

Мощность эквивалентной дозы – H' определяют как отношение приращения эквивалентной дозы dH за малый промежуток времени к его длительности dt :

$$H' = \frac{dH}{dt}$$

Единица мощности эквивалентной дозы в системе "СИ" - зиверт в секунду (Зв/с). В практической дозиметрии используют также внесистемные единицы: бэр/ч, бэр/с, мбэр/ч, мбэр/с, бэр/сут и др.

Эквивалентная доза используется для оценки вредных биологических последствий при хроническом облучении человека относительно малыми дозами не превышающими 250 мЗв (25 бэр) за год.

Ограничение влияния гамма-фона помещений на население

Допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников ионизирующего излучения для населения не устанавливаются. Снижение облучения населения достигается путём установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников [3].

В соответствии с Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009) при проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения (отводе территорий под застройку), должно быть предусмотрено, чтобы мощность эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения помещений не превышала мощности дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч (20 мкР/ч).

В эксплуатируемых зданиях защитные мероприятия должны проводиться, если мощность дозы γ -излучения в помещениях превышает мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч.

Приборы и оборудование

Технические данные, устройство и принцип работы дозиметра ДРГ - 01Т1 [4]

Назначение:

Дозиметр ДРГ-01Т1 предназначен для измерения мощности эквивалентной дозы на рабочих местах, в смежных помещениях и на территории предприятий, использующих радиоактивные вещества и другие источники ионизирующих излучений, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения. Кроме того, дозиметр может быть использован для контроля эффективности биологической защиты, радиационных упаковок и радиоактивных отходов, а также измерения мощности эквивалентной дозы в период возникновения, развития и ликвидации последствий аварийных ситуаций.



Рис. - дозиметр типа ДРГ-01Т

Технические данные:

Дозиметр ДРГ-01Т1 обеспечивает измерение мощности эквивалентной дозы в интервале энергий фотонов от 0,08 до 0,48 пДж (0,05-3 МэВ). Измерение мощности эквивалентной дозы осуществляется в двух режимах работы – «Поиск» и «Измерение».

В режиме «Поиск» диапазон измерений мощности эквивалентной дозы от 0,10 мР/ч до 99,99 Р/ч с разбивкой на два поддиапазона:

I – от 0,10 мР/ч до 99,99 мР/ч,

II – от 0,10 Р/ч до 99,99 Р/ч.

В режиме «Измерение» диапазон измерений МЭД от 0,010 мР/ч до 9,999 Р/ч с разбивкой на два поддиапазона:

I – от 0,010 мР/ч до 9,999 мР/ч,

II – от 0,010 Р/ч до 9,999 Р/ч.

Время регистрации измерения в режиме «Измерение» не превышает 25 с, в режиме «Поиск» - 2,5 с. Время установления рабочего режима не более 4 с.

Предел допускаемой основной погрешности измерения (для 95 % доверительного интервала) в любой точке поддиапазона при градуировке по источнику второго разряда ^{137}Cs в нормальных условиях составляет:

а) в режиме «Измерение».

$$\pm \left(15 + \frac{0,5x}{X'} \right) \%;$$

б) в режиме «Поиск»

$$\pm \left(30 + \frac{1,0x}{X'} \right) \%,$$

где X' - мощность эквивалентной дозы в единицах соответствующего поддиапазона измерения (мР/ч или Р/ч); x - единица размерности соответствующего поддиапазона (мР/ч или Р/ч).

Нормальным климатическим условием соответствуют: температура окружающего воздуха (20 ± 5)°С; относительная влажность - от 30 до 80 %; атмосферное давление - от 84 до 106,7 кПа.

Дозиметр позволяет проводить контроль МЭД при следующих условиях эксплуатации:

- при наличии фонового нейтронного излучения;
- в помещениях с плохой освещённостью и в темноте;
- при температуре окружающего воздуха от -10 °С до $+40$ °С;
- при относительной влажности до 90 % при $+30$ °С;
- в постоянных магнитных полях напряжённостью до 318,31 А/м.

Устройство и принцип работы:

Дозиметр ДРГ-01Т1 представляет собой носимый, малогабаритный, выполненный в моноблочном исполнении прибор. Корпус прибора устойчив к моющим средствам группы ОП-7. Работает дозиметр от автономного гальванического источника питания типа «Корунд».

Внутри литого корпуса расположены 3 платы печатного монтажа с размещёнными на них деталями электронной схемы: плата индикации, плата управления, плата детекторов. Все платы механически скрепляются между собой и в сборе крепятся к корпусу дозиметра. Электрическое соединение между платами выполнено объёмным монтажом, что обеспечивает удобство при проведении ремонтных работ.

Геометрический центр детекторов отмечен пересечением вертикальной и горизонтальной рисок (+) на крышке дозиметра. В качестве материала корректирующих фильтров газоразрядных счётчиков применена свинцовая фольга.

На лицевую панель корпуса вынесены:

- табло жидкокристаллического индикатора;
- ручка переключателя поддиапазонов измерения и включения дозиметра - мР/ч - Р/ч - Выкл;
- ручка переключателя режимов работы – Измер - Поиск – Контр;
- кнопка сброса показаний Сброс;
- кнопка подсветки шкалы индикатора.

На боковой поверхности корпуса имеется паз для доступа к регулировочным винтам потенциометров, закрываемый планкой. Батарея источника питания располагается в отдельном отсеке, закрываемом крышкой.

Структурная схема дозиметра ДРГ-01Т1 представлена на рис. 1.

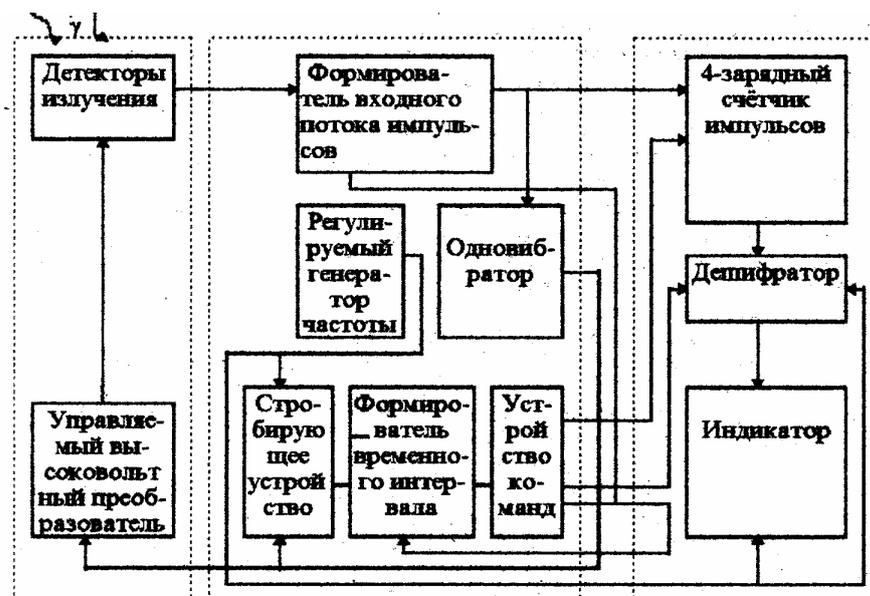


Рис - Структурная схема дозиметра ДРГ-01Т1

Измерение МЭД осуществляется с помощью газоразрядных счётчиков СБМ-20 и СИ-34Г, в них под воздействием гамма-квантов генерируются электрические импульсы тока, которые преобразуются в импульсы напряжения. Импульсы напряжения через делитель частоты поступают на четырёхразрядный счётчик. Накопленная информация за время измерения поступает на жидкокристаллический индикатор через дешифратор, преобразующий двоично-десятичную информацию счётчика в семисегментный позиционный код индикатора.

Время измерения задаётся регулируемым генератором опорных частот. С изменением времени производится преобразование входной информации с детекторов в абсолютное значение выходного параметра (мР/ч, Р/ч).

Одновибратор импульсов выполняет двойную функцию: осуществляет совместно со стробирующим устройством коррекцию нелинейности счётной характеристики, вызванной пересчётами («мёртвым временем») детекторов и осуществляет управление мощностью высоковольтного преобразователя напряжения для питания детекторов в зависимости от их нагрузки. Устройство команд вырабатывает импульсы управления основными узлами дозиметра в различных режимах работы.

Технические данные, устройство и принцип работы дозиметра СРП-68-01 [6]



Рис. – Сцинтилляционный дозиметр СРП-68-01

Назначение. Сцинтилляционный дозиметр СРП-68-01 предназначен для поиска радиоактивных руд по их гамма-излучению и для радиометрической съёмки местности, а также для контроля радиационной обстановки карьеров и горных выработок.

Технические данные:

Дозиметр СРП-68-01 позволяет проводить измерения потока гамма-излучения в пределах от 0 до 10 000 имп/с и МЭД гамма-излучения в пределах от 0 до 3000 мкР/ч.

Время установления рабочего режима – 1 мин.

Основная погрешность прибора $\pm 10\%$.

Рабочий диапазон температур от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность воздуха до 90 % при температуре $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Длина кабеля от 1,5 до 1,7 м.

Градуировка прибора производится по образцовым источникам второго разряда ^{226}Ra . Контроль работоспособности осуществляется от контрольного источника К-3А (^{60}Co) с периодом полураспада $T_{1/2} = 5,25$ лет.

Принцип работы

Работа дозиметра СРП-68-01 основана на преобразовании физической информации гамма-излучения в электрические сигналы с последующим измерением их параметров. Функцию преобразователя выполняет сцинтилляционный детектор, состоящий из кристаллов NaI (Тl) и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), который преобразует световые сигналы в электрические. Сцинтилляционный детектор представляет собой основную часть блока детектирования (БДГ4-01). Кроме детектора блок содержит усилитель (У) и дифференциальный дискриминатор (ДД) (рис. 2). С выхода ФЭУ импульсы тока попадают на эмиттерный повторитель, преобразующий импульсы тока в импульсы напряжения, которые затем через усилитель (У) подаются на дифференциальный дискриминатор (ДД). Дискрими-

натор отделяет импульсы с амплитудой меньше заданного порога (шумы) и нормализует по амплитуде и форме импульсы выше данного порога. Для питания ФЭУ используется высоковольтный преобразователь (ВП). Корпус блока детектирования представляет собой цилиндр, в передней части которого расположены кристалл и ФЭУ, оптический контакт между ними осуществляется с помощью органической смазки.

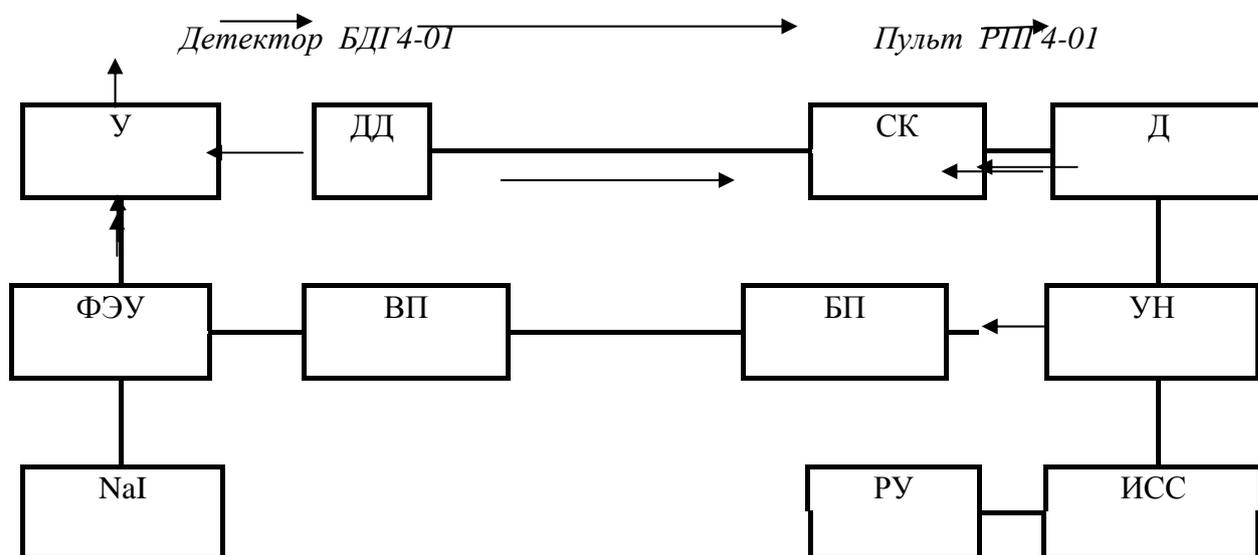


Рис - Блок-схема прибора СРП-68-01

С торцевой части блока детектирования имеется окно из тонкого (0,5 мм) алюминия, прикрытое резиновым колпаком.

Измерительный пульт РПГ4-01 содержит согласующий каскад (СК) для обеспечения согласования блока детектирования с измерительным пультом. Для упорядочения распределения временных интервалов между импульсами сигнал поступает на делитель частоты (Д) - триггер со счётным входом и далее на усилитель-нормализатор амплитуды импульсов (УН) и измеритель средней скорости счёта (ИСС) с переключаемыми с помощью переключателя пределов измерения дозирующими ёмкостями и подключенным к нему измерительным прибором - регистрирующим устройством (РУ).

Частота повторения импульсов пропорциональна измеряемой физической величине. Последовательность импульсов, поступающая в ИСС интегрируется измерителем, и результат интегрирования выводится на стрелочный прибор, проградуированный в единицах мощности дозы γ -излучения.

Технические данные, устройство и принцип работы дозиметра ДКГ-03Д «Грач»

Назначение. Дозиметр «Грач» предназначен для измерений мощности эквивалентной дозы МЭД гамма-излучения. Дозиметр может использоваться как поисковый прибор и индивидуального контроля радиационной обстановки.

Технические данные. Дозиметр может использоваться для регистрации гамма-излучения с энергиями от 0,08 до 0,48 пДж (0,05 – 3 МэВ). Диапазоны измерений: МЭД от 0,1 до $1,10^3$ мкЗВ/ч и ЭД от 1 до $1,10^8$ мкЗВ. Пределы допустимой погрешности измерений не более $\pm 5\%$.

Время измерения не ограничено. Время установления рабочего режима 5с.

Дозиметр позволяет проводить контроль при следующих условиях эксплуатации:

- при наличии электромагнитных полей;
- при электростатических разрядах до 8 кВ;
- при температуре минус 20°C до плюс 25°C и относительной влажности до 90 %.

Устройство и принцип действия. Принцип действия дозиметра основан на подсчете импульсов, поступающих со счетчиков Гейгера-Мюллера. Питание счетчиков обеспечивается напряжением 400 В, создаваемым встроенным высоковольтным преобразователем. Обработка полученных данных осуществляется микропроцессором, а результат измерения представляется на жидкокристаллическом табло.

Счетчики Гейгера-Мюллера – это газоразрядные детекторы частиц. Их действие основано на возникновении в счетчике самостоятельного газового разряда при попадании заряженной частицы в его рабочий объем.

Цилиндрический счетчик (см. рис.) представляет собой герметично запаянную тонкостенную металлическую трубку, вдоль оси которой натянута тонкая металлическая нить (анод). Счетчик заполняется инертным газом.

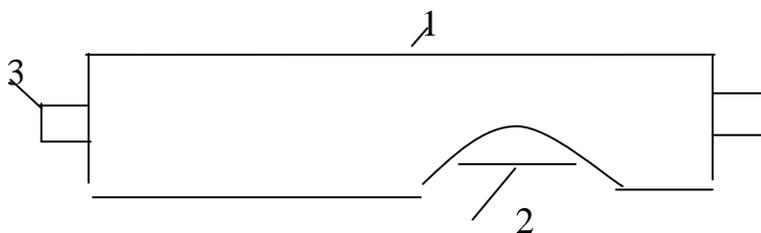


Рис - Схема счетчика Гейгера-Мюллера:

1 – трубка; 2- анод; 3- слюдяное окошко: (аргон, неон) под давлением 100-200 мм рт.ст.

Электрическая схема счетчика показана на рис.

Ионизирующее излучение проникает в цилиндрический счетчик через его боковую поверхность – слюдяное окошко.

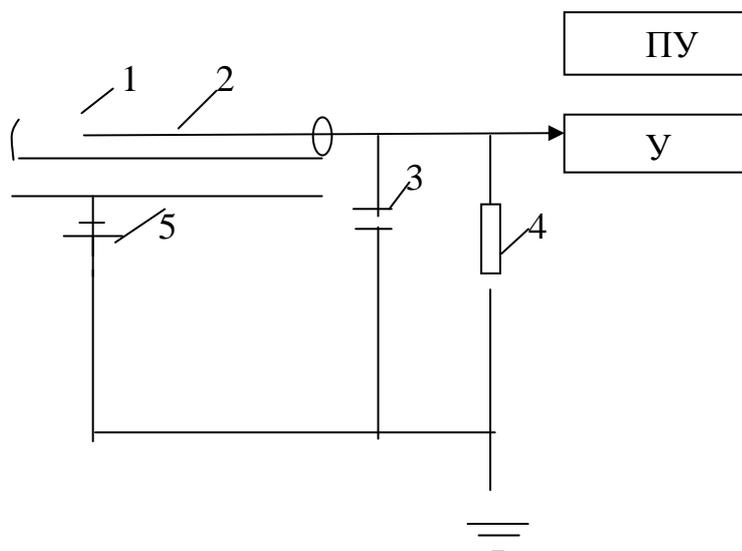


Рис - Электрический счетчик:

1 – катод; 2 – анод; 3 – емкость; 4 – сопротивление; 5 – питание; У – усилитель; ПУ – пересчетное устройство.

Электроны, образующие лавину, движутся в счетчике к аноду, положительные ионы – к катоду. Положительные ионы, достигая катода, вырывают из него электроны, присоединяют их к себе и нейтрализуются. Возвращение атомов в основное состояние сопровождается испусканием фотонов. В счетчике возникает самостоятельный газовый разряд, являющийся откликом на попадание в его рабочий объем ионизирующей частицы. Самостоятельный разряд в счетчике замыкает цепь, и через сопротивление (4) начинает течь ток. По закону Ома для замкнутой цепи это приводит к уменьшению напряжения между катодом и анодом счетчика. Импульс тока, возникающий в цепи счетчика, усиливается и подается на пересчетное устройство, где преобразуется в сигнал (цифровое значение на табло).

Экспериментальная часть

Дозиметр ДРГ-01-Т1: Перед включением произвести внешний осмотр прибора. При внешнем осмотре должны отсутствовать механические повреждения прибора, все пломбы и клейма должны быть в ненарушенном состоянии. Установить в отсеке питания батарею питания (типа «Корунд»), соблюдая полярность.

Включить дозиметр, для чего установить переключатель поддиапазона в одно из положений: мР/ч или Р/ч, а переключатель режимов работы в положение «Контр»

Осуществить сброс показаний нажатием кнопки «Сброс». На цифровом табло при правильном функционировании счётных устройств дозиметра и пригодности источника питания должно отображаться число 0513 ± 1 .

Установить переключатель режимов работы в положение «Поиск», переключатель поддиапазона измерения - в положение мР/ч. Произвести сброс показаний нажатием кнопки «Сброс».

Определить направление излучения по максимальным показаниям на цифровом табло, ориентируя дозиметр в пространстве. Отсчёт показаний производится непосредственно в единицах установленного поддиапазона измерения.

В режиме работы «Поиск» смена информации на цифровом табло осуществляется автоматически в такт с миганием запятой в младшем разряде.

Для повышения точности измерения при уровнях мощности дозы в пределах до 9,999 мР/ч или до 9,99 Р/ч соответствующих поддиапазонов определение действительного значения целесообразно производить в положении «Измерение» переключателя режима работы.

В режиме работы «Измерение» на цифровом табло отображаются нули во всех разрядах и мигает запятая в младшем разряде. Отсчёт показаний производится в конце цикла измерения в момент прекращения мигания запятой младшего разряда. Показания на цифровом табло сохраняются до момента нажатия кнопки «Сброс» и запуска дозиметра на новый цикл измерения.

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

При отображении переполнения на поддиапазоне мР/ч в режиме работы «Измерение» переключатель режимов работы перевести в положение «Поиск». Если в этом режиме отображается переполнение, необходимо переключатель режимов работы перевести в положение Р/ч и нажатием кнопки «Сброс» запустить дозиметр.

При эксплуатации дозиметра в условиях повышенной влажности воздуха и минусовой температуре необходимо использовать форсированный режим работы преобразователя высокого напряжения, для чего нажать кнопку «Сброс» и удерживать её в течение всего цикла измерения в режимах работы «Поиск» или «Измерение».

Дозиметр СРП-68-01: Переключатель режима работы поставить в положение «Выкл». Выставить стрелку прибора на нуль. Отвернув винты, открыть крышку батарейного отсека и вставить комплект элементов питания (9 элементов типа «343»), обратив внимание на соблюдение правильной полярности подключения элементов согласно маркировке на элементе, после чего затянуть винты крышки отсека.

Исходные положения органов управления: «мкР/ч» и «Выкл». Перевести прибор в рабочее состояние:

1) переключатель режима работы перевести в положение «Бат». Проверить напряжение питания (8-15 В). Если напряжение менее 8 В, то надо сменить элементы питания;

2) переключатель режима питания перевести в положение «15 В». Выходное напряжение стабилизатора должно быть $5 \pm 0,3$ В.

Все измерения могут быть начаты спустя одну минуту после включения прибора. Переключатель режима перевести в положение 5 с. Приложив к отметке на блоке детектирования контрольный источник ^{60}Co , проверить показания прибора, которые должны соответствовать величине, записанной в паспорте или свидетельстве о госпроверке прибора. Допускается вводить поправку на показания средств измерения, определив коэффициент поправки отношением показания от контрольного источника, зафиксированного в паспорте к показанию от контрольного источника, измеренного перед началом работы. Проверить платосчётную характеристику ФЭУ, для чего, не изменяя положения контрольного источника на блоке детектирования, нажать кнопку «Контр». При этом показание прибора должно сохраниться в пределах 90 % первоначального.

Измерение мощности дозы внешнего излучения в помещениях и на участках застройки [5]

Измерение в помещениях обследуемого здания проводят в трёх точках – одна точка на высоте 1 м от поверхности пола в центре обследуемого помещения и две на расстоянии 0,25 м от стен.

В каждой контрольной точке производится не менее 5 измерений. Значение мощности дозы гамма-излучения в точке вычисляется по формуле:

$$N_i = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 N_{ik},$$

где $k = 1, 2, \dots, n$ - номер точки; $i = 1, 2, \dots, 5$ - номер измерения; N_{ik} - результат i -го измерения в k -й контрольной точке, мР/ч.

Превышение мощности дозы внешнего гамма-излучения в контролируемом помещении над мощностью дозы гамма-фона на открытой местности вычисляют по формуле:

$$N_k = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 N_{ik} - N_\phi,$$

где N_ϕ - мощность дозы гамма-излучения на открытой местности, мР/ч.

Мощность дозы внешнего излучения, присущей данной местности на открытом воздухе, определяют вблизи (10-15 м) от контролируемого здания. Для измерения выбирается не менее 3х контрольных точек, расположенных на ровном уча-

стке местности на расстоянии не менее 30 м от близлежащих зданий. Выбираются участки с естественным покрытием без значительных техногенных воздействий [6].

В каждой точке проводится не менее 5 измерений на высоте 1 м (для ДРГ-01Т1) или 10-15 см (для СРП-68-01) над поверхностью земли. Значение мощности дозы гамма-излучения в точке вычисляется по формуле:

$$N_j = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 N_{ij},$$

где $j = 1, 2, \dots, n$ - номер точки; $i = 1, 2, \dots, 5$ - номер измерения;

N_{ij} - результат i -го измерения в j -й контрольной точке, мР/ч.

Мощность дозы гамма-излучения на открытой местности вычисляют как среднее значение:

$$N_{\phi} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_j,$$

Результаты измерений мощности дозы внешнего излучения в помещении занести в таблицу 1.

Таблица

Результаты измерений мощности дозы излучения в помещении

№ точки	Мощность дозы внешнего излучения в помещении, мкР/ч						Средняя МЭД на открытой местности (N_{ϕ}), мкР/ч	Превышение МЭД, мкР/ч
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	$N_{\text{ср}}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Содержание отчета:

1. В отчёте указать цель работы, теоретическую часть и расчётные формулы.
2. Выполнить структурные схемы дозиметров.
3. Ознакомиться с разделом «Экспериментальная часть». Результаты измерений мощности дозы внешнего излучения в помещении и на открытой местности заносятся в таблицу.
4. Сделать вывод об уровне внешнего излучения в помещении со ссылкой на нормативные документы.

Контрольные вопросы

1. Что такое эквивалентная, поглощённая, экспозиционная доза?
2. Понятия мощности эквивалентной, поглощённой, экспозиционной дозы?
3. Назовите единицы эквивалентной, поглощённой, экспозиционной дозы в системе СИ.

4. На каком принципе регистрации ионизирующих излучений основано действие дозиметров ДРГ-01Т1, СРП-68-01.
5. Расскажите об устройстве дозиметров ДРГ-01Т, СРП-68-01.
6. Какая структурная схема дозиметров ДРГ-01Т1, СРП-68-01?
7. Объясните методику измерения МЭД в помещении и открытой местности.
8. От чего зависит мощность эквивалентной дозы в помещении?
9. Какой нормативный документ регламентирует мощность дозы внешнего гамма-излучения в помещении?

Правила безопасности

1. Перед проведением измерений убедитесь в исправности дозиметров.
2. Проверку дозиметров на исправность проводить в присутствии преподавателя.
3. Запрещается вскрывать дозиметры и проводить измерения во влажных условиях. Газоразрядные счётчики во включенном состоянии находятся под высоким напряжением (400-440В).
4. Строго соблюдать методику проведения измерений.

Лабораторная работа № 2:

Изучение пробоотбора и пробоподготовки образцов

Цель работы: изучение методики пробоотбора и пробоподготовки строительных материалов, обеспечивающих представительность пробы, для определения удельной активности ЕРН.

Оборудование: ножи, лопаты, рулетки, лотки для перемешивания, доски для пробоподготовки, весы, мерные емкости.

Пробоотбор и пробоподготовка. Методика пробоотбора и пробоподготовки [6] распространяется:

- на неорганические сыпучие строительные материалы (щебень, гравий, песок, цемент, гипс и др.);
- строительные изделия (плиты облицовочные, декоративные и другие изделия из природного камня, кирпич и камни стеновые);
- на отходы промышленного производства, используемые непосредственно в качестве строительных материалов или как сырье для их производства.

Подготовленные в соответствии с Методикой [6] пробы используются для последующего определения удельной эффективной активности естественных радионуклидов, для оценки строительных материалов и изделий по радиационному признаку.

Очевидно, что для получения сопоставимых результатов необходимо использовать одинаковую методику отбора проб, их подготовку, проведение радиохимических измерений и обработку полученных данных. Значение контроля допустимого содержания ЕРН в различных строительных материалах, а также их поступления в организм человека велико и в связи с возрастающими масштабами добычи и переработки минералов, использования атомной энергии будет продолжаться возрастать. Главной формой такого контроля является определение концентрации ЕРН и минералах, имеющих прямое отношение к жизнедеятельности человека.

Очевидно, что для получения сопоставимых результатов необходимо использовать одинаковую методику отбора проб, их подготовку, проведение радиохимических определений и обработку полученных данных.

Отбор проб минералов и почвы определяется в основном активностью изотопа ^{40}K , и вследствие различного химического состава минерала (почвы) его активность колеблется в пределах (7-1 740) Бк/кг сырой массы, что соответствует (111-1295) 10^8 Бк/км³ по β -излучению при толщине взятого образца минерала 5 см. Отбор проб для радиометрических измерений проводится по стандартной методике. Пробы минерала (почвы) отбираются методом «конверта», т.е. в пяти точках (углы и центр квадрата со стороной 100 м) выбирается поверхностный слой разме-

ром 15x15 см на глубину 5 см. Окончательно проба (~1 кг) составляется из пяти хорошо перемешанных образцов с предварительно удаленной растительностью.

В настоящей методике [6] применяют следующие термины и обозначения:

Естественные радионуклиды (ЕРН) - основные радиоактивные нуклиды природного происхождения, содержащиеся в строительных материалах: радий (^{226}Ra), торий (^{232}Th), калий ^{40}K);

Удельная активность радионуклида (A) - отношение активности радионуклида в образце к массе образца, Бк/кг;

Удельная эффективная активность ЕРН ($A_{эфф}$) - суммарная удельная активность ЕРН в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K,$$

где A_{Ra} , A_{Th} , A_K - удельные активности радия, тория, калия соответственно, Бк/кг.

Определение удельных активностей ЕРН в сыпучих материалах проводят на навесках, отобранных из представительной пробы.

Представительную пробу получают путем перемешивания и квартования не менее 10 точечных проб, отобранных из контрольных точек.

При контроле сыпучих материалов на складе контрольные точки выбирают:

- на конусах или штабелях - по периметрам горизонтальных сечений с интервалом не более 10 м, высота нижнего сечения от подошвы конуса или штабеля должна быть не менее 1 м;

- на карте намыва - в узлах прямоугольной сети 10 x 10 м.

2. При входном контроле сыпучих строительных материалов контрольные точки выбирают в каждом транспортном средстве на расстоянии не менее 1 м от бортовой стенки:

- в железнодорожном транспорте (полувагоне и платформе) - не менее двух точек;

- в автомобильном транспорте - одну точку в центре кузова;

- на водном транспорте (на барже - площадке или бункерных судах) - не менее двух точек, расположенных вдоль оси судна.

Отбор проб производят в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Представительную пробу с размером зерен более 5 мм измельчают до размеров зерен менее 5 мм. В зависимости от объема применяемого в радиометрической установке контейнера пробу массой от 2,5 до 10 кг упаковывают в двойной мешок, между стенками которого помещают паспорт пробы с наименованием материала, адреса предприятия, направившего пробу, места и даты отбора пробы.

Определение удельных активностей ЕРН в строительных изделиях и облицовочных материалах из природного камня проводят также на навесках, отобранных из представительной пробы.

Представительную пробу массой от 2,5 до 10 кг получают путем измельчения изделий (кирпича, плит, околлов природного камня, полученных при производстве облицовочных материалов), отобранных при приемке партии согласно действующим нормативным документам. Допускается использование материала, полученного при определении предела прочности при сжатии, растяжении или изгибе изделий, или специально приготовленных образцов.

Окончательная проба составляется из пяти хорошо перемешанных образцов с предварительно удалённой растительностью. Представительную пробу с размером зерен менее 5 мм упаковывают в двойной мешок, как указано выше.

Для определения удельных активностей ЕРН полученные представительные пробы высушивают до постоянной массы, затем заполняют пять контейнеров и контейнеры взвешивают. Насыпную плотность определяют путем деления массы навески в каждом контейнере на объем контейнера.

Контейнеры герметично закрывают, маркируют и выдерживают в комнатных условиях в течение времени, установленного методикой выполнения измерений для получения радиоактивного равновесия ЕРН.

В соответствии со стандартом проводят экспрессный и лабораторный методы определений удельной эффективной активности ЕРН в строительных материалах и изделиях.

Экспрессный метод предназначен для проведения:

- периодического и входного контроля сыпучих строительных материалов и отходов промышленного производства (далее - сыпучих материалов), а также строительных изделий в соответствии с действующими нормативными документами;

- предварительной оценки разрабатываемых горных пород в карьере (приложение Г).

Условием применения экспрессного метода является отсутствие загрязнения материалов и изделий техногенными радионуклидами.

Лабораторный метод предназначен для:

- установления класса строительного материала (изделия);
- уточнения класса строительного материала (изделия) в случае получения граничных значений по экспрессному методу;
- сертификации продукции.

Теоретическая часть [7]

Результаты любого измерения всегда содержат некоторую ошибку. Поэтому в задачу измерения концентрации радионуклидов в пробах входит не только определение самой величины, но и оценка допущенной при измерении погрешности.

Погрешности измерений делят на систематические и случайные. Систематические погрешности вызываются факторами, действующими одинаковым образом при повторении одних и тех же измерений. Примерами систематических погрешностей при измерении активности проб минералов являются точность прибора, с помощью которого измеряют активность образца, точность весов и т.п. Случайные погрешности обязаны своим происхождением ряду причин, действие которых неодинаково в каждом опыте и не может быть учтено. Например, число ядер, распадающихся в исследуемом образце в каждый интервал времени, не является строго постоянной величиной.

Еще одна разновидность погрешности - промах, источником которого служит недостаток внимания экспериментатора или помехи, воспринимаемые измерительной аппаратурой. Примерами последних при измерении проб могут быть естественный фон и радиоактивная загрязненность прибора. При любом измерении такого рода погрешности должны быть исключены. Основным способом устранения - тщательность и внимание.

Иногда известна природа систематической погрешности при измерениях. Тогда измеряемую величину можно определить достаточно точно: такие погрешности обычно называют поправками. Примером служат поправки на распад радиоактивного вещества при измерении активности короткоживущих изотопов, поправки на химический выход носителя и т.п.

На практике оценкой истинного значения измеряемой величины является среднее арифметическое \bar{X} :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

где X_i - измеряемая величина (индекс i указывает порядковый номер значения измеряемой величины X); n - число измерений.

Предположим, что ΔX - погрешность измерения этой величины. Тогда результат измерений будет отличаться от среднего арифметического значения на величину, большую, чем ΔX , с определенной вероятностью. Это записывают следующим образом:

$$p[(X - \Delta X) < X < X + \Delta X] = d,$$

где p - абсолютное значение измеряемой величины.

Вероятность d называется доверительной вероятностью или коэффициентом надежности, а интервал значений от $X - \Delta X$ до $X + \Delta X$ - доверительным интервалом. Чем большая требуется надежность, тем большим получается доверительный интервал, и наоборот. Следовательно, указание одного только значения погрешности без указания соответствующей ей доверительной вероятности лишено смысла.

Характеристикой разброса для ряда экспериментальных данных на практике, как правило, служит стандартная погрешность, или среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Величину σ_x можно определить также по «размаху» наблюдений, т.е. зная максимальное X_{\max} и минимальное X_{\min} значения, полученные в данном ряде измерений. Тогда значение σ_x находим по формуле:

$$\sigma_x = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k}$$

В которой коэффициент k связан с числом измерений n (табл.1).

Таблица

Зависимость коэффициента k от числа измерений

Число измерений	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	1,15	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97
10	3,08	3,17	3,26	3,34	3,41	3,47	3,53	3,59	3,64	3,69
20	3,73	3,78	3,82	3,86	3,90	3,93	3,96	4,00	4,03	4,06

Удобство применения стандартной погрешности как основного численного значения погрешностей наблюдений заключается в том, что этой величине соответствует вполне определенная доверительная вероятность $X=0,68$, т.е. примерно в 7 случаях из 10 измеряемая величина будет отличаться от среднего арифметического значения менее чем на величину стандартной погрешности.

Делением абсолютной погрешности на измеряемое значение получают относительную погрешность измерения, которую часто выражают в процентах:

$$\sigma = \frac{\sigma_x}{X} 100\% .$$

Характеризуя окончательную точность измерений, можно указывать стандартную погрешность среднего арифметического значения:

$$\sigma = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}},$$

где n - число измерений.

Со стандартной погрешностью связано положение последней значащей цифры в полученном результате измерений, которое должно соответствовать положению первой значащей цифры в стандартной погрешности среднего арифметического значения выборки, деленного на 3.

Например, в результате обработки измерений установлено, что $X = 38,551$ и $\sigma_x = 1,5$.

Для того чтобы определить положение последней значащей цифры, разделим σ_x на 3: $\sigma_x / 3 = 0,5$.

Следовательно, ответ: $38,5 \pm 1,5$

Приведем еще несколько вариантов примеров, которые полезны при обработке экспериментальных данных.

Пусть одно из измерений X_i ; в ряду сильно отличается от остальных. Следует ли его учитывать или отбросить? Для этого вычисляем величину:

$$Z = \frac{X_i - X}{\sigma_x \sqrt{\frac{n-1}{n}}}$$

и сравниваем ее с табличным значением Z (табл. 2). Если $Z > Z_{табл}$, то результат, вызывающий сомнение, можно отбросить. Иногда необходимо получить оценку среднего значения и средней квадратичной погрешности при объединении ряда выборок. В этом случае может быть получена оценка средней повышенной удельной активности ЕРН в минерале в данном карьере, если известны результаты измерений по месяцам, которые, в свою очередь, получены после еженедельных или ежесуточных измерений.

Таблица

Зависимость коэффициента k от числа измерений

Число измерений	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	1,41	1,69	1,87	2,00	2,10	2,17	2,24
10	2,29	2,34	2,39	2,43	2,46	2,49	2,52	2,55	2,58	2,60
20	2,62	2,64	2,66	2,68	2,70	-	-	-	-	-

Математически это выглядит следующим образом. Пусть имеется номер выборок (т.е. номер месяцев, по которым усредняют) численностью n_1, n_2, \dots, n_n (n - число измерений) с соответствующими средними значениями X_1, X_2, \dots, X_n и средними квадратическими погрешностями $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$.

Дальнейшая процедура зависит от того, какие из указанных выше величин известны.

Пример 1. Известны все величины, т.е. N, n_i, X_i, σ_i . Тогда общее среднее значение вычисляется по формуле:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{X}_i n_i}{\sum_{i=1}^N n_i},$$

Общая средняя квадратическая погрешность:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (n_i - 1) \sigma_i^2}{\sum_i n_i - N}},$$

или (что является менее точным) -

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i \sigma_i^2}{N}}.$$

Пример 2. Неизвестны n_i , известны N, X_i и σ_i . В этом случае X можно оценить по формуле:

$$X_i = \frac{\sum_i X_i \omega_i}{\sum_i \omega_i},$$

где $\omega_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$.

Пример 3. Неизвестны σ , известны N, n_i, X_i . Определяем:

$$\frac{\sum_i \bar{X}_i n_i}{\sum_i n_i}, \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2 n_i}{\sum_i n_i}}.$$

Пример 4. Если известны только средние значения X и N , то в таком случае предполагают, что неизвестные σ_i примерно одинаковы, а n_i также мало различаются и рассчитываются по формулам:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_i \bar{X}_i, \quad \sigma = \sqrt{\frac{(\bar{X}_i - \bar{X})^2}{N-1}}.$$

Практическая часть

1. Пусть имеется $N=5$ выборок с $X_i=518, 444, 370, 296, 222$ Бк/кг; $\sigma_i = 1, 2, 3, 4, 5$; $n_i = 5, 4, 5, 4, 5$.

По формулам, приведенным в примерах 1- 4, определяем значения X и σ и сравниваем их между собой.

1. Получили десять измерений величины X :

$X_i = 8, 9, 8, 10, 12, 8, 4, 10$.

Определить, следует ли учитывать максимальное и минимальное значения в этом ряду.

Содержание отчета:

1. В отчете указать цель работы, теоретическую часть и расчетные формулы.
2. Выполнить задания, связанные с расчетом средней арифметической величины, вычислить квадратичную ошибку (погрешность), выбрать при расчетах коэффициенты k и Z .
3. Подготовить вывод о точности полученных проб.

Контрольные вопросы

1. Как производится пробоотбор минералов в карьере?
2. Что такое случайная погрешность и с чем она связана при отборе проб?
3. Что такое систематическая погрешность? Какими факторами она обусловлена?
2. В чем заключается пробоподготовка минералов для измерения и анализа?

Лабораторная работа № 3

Качественный и количественный анализ удельной активности ЕРН в минералах с помощью спектрометра на базе полупроводникового детектора

Цель работы - изучить основы полупроводниковой гамма-спектроскопии.

Задача: получить практические навыки по измерению γ -спектров радионуклидов; определить удельные активности проб.

Оборудование и материалы: гамма-спектрометр, образцы проб.



Рис – Гамма-спектрометр с полупроводниковым детектором

Теоретическая часть

Полупроводниковая гамма-спектроскопия - наиболее точный и чувствительный метод определения содержания γ -излучающих радионуклидов в пробах [2,5]. Для использования ее в практических целях специалисту необходимо знать, как γ -кванты взаимодействуют с веществом, каким образом осуществляется преобразование энергии γ -квантов в электрический сигнал, как происходит его усиление и регистрация в числовом виде. Для расчета активностей проб необходимо умение учитывать влияние фоновых условий и эффективности детектора, а также знание основ механизма распада ядер с испусканием γ -излучения.

Основными механизмами взаимодействия γ -квантов с веществом являются комптоновское рассеяние, фотоэффект и рождение электрон-позитронных пар. Для рассмотрения этих эффектов наиболее удобно применять корпускулярное описание электромагнитного излучения, так как в каждом акте взаимодействия участвует один γ -квант. Ослабление коллимированного пучка γ -квантов K при прохождении через вещество описывается простым экспоненциальным законом:

$$K = Ne^{-\mu},$$

где N - остающееся число квантов в пучке после прохождения им расстояния r ; μ - коэффициент поглощения, является суммой трех членов, соответствующих каждому из трех указанных выше эффектов.

При комптоновском взаимодействии происходит рассеяние квантов на электроны, при котором γ -квант отдает часть своей энергии электрону, изменяя направление движения; причем собственная энергия γ -кванта при этом, естественно, уменьшается с ростом энергии γ -квантов, но не так быстро, как при фотоэффекте, и при энергиях 0,5-3 МэВ он является доминирующим.

При фотоэлектрическом взаимодействии γ -квант вырывает связанный электрон из электронной оболочки атома. При этом вся энергия γ -кванта передается атому, который испускает электрон с энергией $(E - E_{св})$, где $E_{св}$ - энергия связи электрона в атоме. Возбужденный атом, распадаясь в основное состояние, испускает энергию $E_{св}$ в виде рентгеновского излучения или электронов. Сечение фотоэффекта быстро растет с увеличением атомного номера вещества Z , и уменьшается с возрастанием энергии γ -квантов.

В процессе образования электрон-позитронных пар γ -квант в поле ядра отдает свою энергию на рождение электрон-позитронной пары. Энергия γ -кванта переходит в массу покоя и кинетическую энергию электрона и позитрона. Минимальная энергия, необходимая для осуществления этого процесса, равна двум массам покоя электрона, т.е. 1 и 2 МэВ. Сечение этого процесса возрастает с ростом энергии γ -квантов и при энергии $E > 2$ МэВ становится доминирующим.

Таким образом, для такого определения энергий и числа испускаемых ЕРН γ -квантов в интересующей нас области энергий наиболее подходящим является фотоэффект. Комптон-эффект в данном случае приводит к ухудшению условий измерений, так как результатом его является появление дополнительного фотона под фотопиками. Эффект рождения пар, играющий значительную роль при высоких энергиях γ -квантов, в гамма-спектроскопическом анализе проб с имеющимся частым набором ЕРН не используется и на результаты его практически не влияет.

Энергия, теряемая γ -квантом в полупроводниковом кристалле, вызывает в нем образование электрон-дырочных пар, средняя энергия образования которых, например, для германия равна 2,59 эВ при 80 К. Так как часть энергии ионизирующего излучения приводит также к возбуждению кристаллической решетки в виде фотонов, возникают флуктуации в числе электрон-дырочных пар, созданных γ -квантами одинаковой энергии, и, следовательно, появляется неопределенность в регистрируемой энергии γ -квантов.

Наличие дефектов в полупроводниковом кристалле приводит к захвату части образовавшегося заряда в «ловушках» и увеличению времени его сбора, что также сказывается на энергетическом разрешении детектора, т.е. приводит к его ухудшению и искажению формы γ -линии при рассмотрении ее на мно-

гоканальном анализаторе. Полученный в полупроводниковом детекторе сигнал в виде электрического заряда, пропорционального энергии, потерянной γ -квантом в кристалле (в случае фотоэффекта - полной энергии γ -кванта) усиливается и преобразуется в цифровую форму соответствующими блоками гамма-спектрометра (рис.).

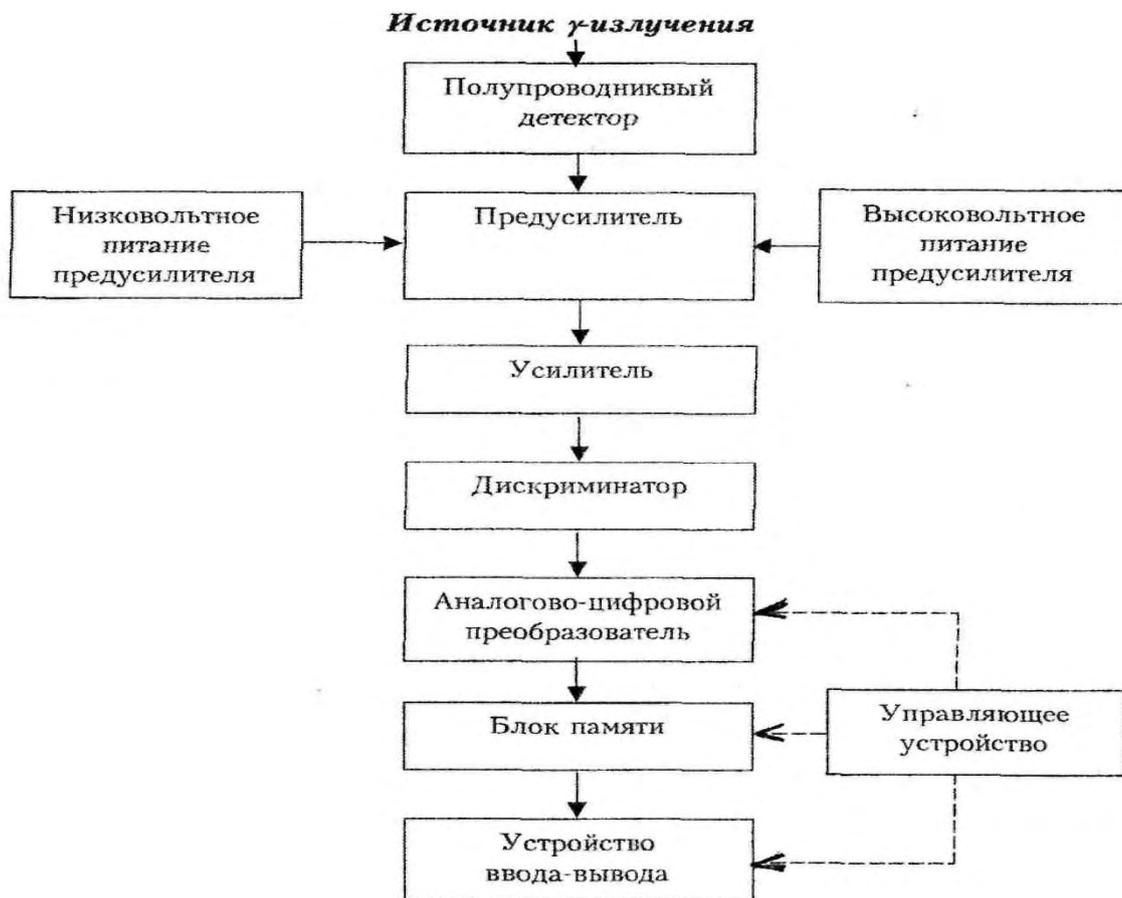


Рис - Блок-схема гамма-спектрометра

Блок высокого напряжения предназначен для подачи на полупроводниковый детектор напряжения смещения, равного обычно 1,5-3 кВ. Заряд, собранный в полупроводниковом детекторе, усиливается зарядно-чувствительным предусилителем. Затем сигнал поступает на усилитель, основные функции которого - усиление сигнала и получение его формы, обеспечивающей оптимальное соотношение «сигнал - шум». Дискриминатор предназначен для ограничения исследуемого диапазона сигналов с целью отсекаания низкоэнергетических шумов, что позволяет уменьшить загрузку аналогово-цифрового преобразователя.

Аналогово-цифровой преобразователь преобразует электрический сигнал в цифровую форму и записывает его в блок памяти анализатора. Процесс записи состоит в добавлении единицы в канал, номер которого пропорционален величине сигнала, т.е. энергии γ -кванта. Накопленный в течение определенного времени спектр может быть выведен на внешние устройства хранения и отображения ин-

формации, такие, как дисплей, печать, магнитофон, гибкие диски и т.п. Всеми режимами накопления и объема информацией управляет управляющее устройство - специализированный процессор.

Пример накопленного в анализаторе спектра показан на рис. Рассмотрим выделенный на рисунке участок спектра. Он включает в себя фотопик и фоновые отсчеты, основная часть которых возникает в полупроводниковом детекторе. Для точного определения числа отсчета в фотопике обычно используется аппроксимация фотопика Гауссианом, а фон - полиномом второй или третьей степени, с оценкой точности аппроксимации методом наименьших квадратов. Для приближительного определения площади пика необходимо выделить участок, как показано на рис., найти полное число отсчетов на выбранном участке, определить примерное значение $S_{\text{фона}}$, т.е. площади под пиком, и вычесть из площади участка;

$$S_{\text{пика}} = \sum_{n_1}^{n_2} N_i - \frac{N_{n_1} - N_{n_2}}{2} (n_2 - n_1 + 1), \quad (24)$$

где N_i, N_{n_1}, N_{n_2} - показатели пиков; n_1, n_2 - номера измерений.

Полученное значение площади равно числу γ -квантов данной энергии, зарегистрированных полупроводниковым детектором за время измерения. Так как в окружающей среде возможно присутствие фонового излучения с такими же энергиями γ -квантов, как и у ЕРН в пробе, необходимо из полученного значения площади фотопика вычесть предварительно измеренную площадь фотопика фона. С учетом эффективности регистрации детектора, т.е. отношения зарегистрированных γ -квантов к числу γ -квантов, испущенных источником, разделим полученную площадь на эффективность регистрации и получим число γ -квантов, испущенных источником.

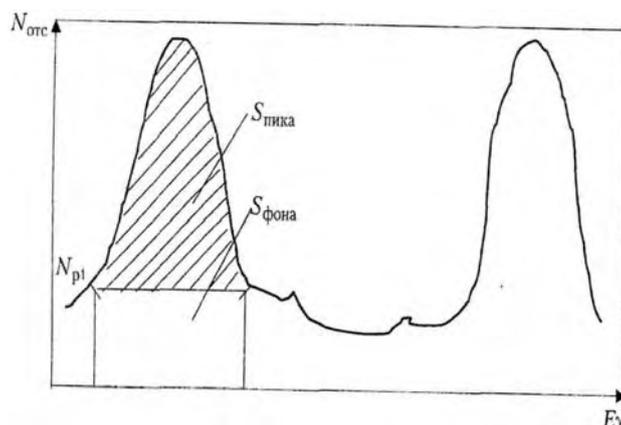


Рис - Пример накопленного пика в анализаторе γ -спектра

С учетом того, что число испускаемых γ -квантов данной энергии на каждый акт распада ядер является постоянной величиной, характерной для данного ядра и энергии, получим следующую формулу для расчета активности пробы:

$$A = \frac{[S_n(E_1) - S_\phi(E_2)]}{n_i \varepsilon(E_i) T},$$

где A - активность пробы; T - время набора спектра; $\varepsilon(E_i)$ - коэффициент эффективности регистрации детектора; n_i - выход γ -квантов на акт распада ядра; S_n - площадь фотопика; S_ϕ - площадь фотопика фонового излучения; E_1, E_2 - энергия γ -кванта.

Для определения активности пробы в Бк/кг и Бк/км² полученная активность делится соответственно на массу или площадь отбора измеренной пробы.

Экспериментальная часть

При включении гамма-спектрометра необходимо соблюдать строгую очередность, так как подача на детектор высокого напряжения при отсутствии питания предусилителя приводит к выходу из строя последнего. В первую очередь включается питание предусилителя, усилителя и анализатора. Затем подается высокое напряжение на детектор. Через 5-10 мин после окончания повышения высокого напряжения спектрометр готов к работе.

Перед началом набора спектра необходимо отградуировать спектрометр по энергии с использованием градуировочного источника согласно инструкции по эксплуатации анализатора.

После установки пробы в измерительную камеру запуск набора спектра осуществляется согласно инструкции по эксплуатации анализатора.

Полная площадь фотопика рассчитывается выделением требуемой области маркерами анализатора и выполнением действий в соответствии с инструкцией по эксплуатации анализатора.

Задание:

1. Измерить γ -спектр пробы минерала.
2. Подсчитать площади наиболее интенсивных пиков ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th и занести в табл. Энергии и другие характеристики радионуклидов приведены в табл.
3. С помощью данных, приведенных в табл., рассчитать активность пробы, Бк/кг и Бк/км², на день измерения.
4. Определить активность пробы на дату ее отбора.
5. Вычислить суммарную эффективную удельную активность ЕРН в минерале [7, 8].
6. Оформить сертификат на минерал.

Результаты анализа

Радионуклид	Энергия E_γ , МэВ	Полная площадь	Площадь фотопика	Площадь фотопиков фона	Активность, Бк/кг	Погрешность, %
^{226}Ra	1,765					
^{232}Th	2,615					
^{40}K	1,460					

Характеристики радионуклидов

Радионуклид	Энергия E_γ , МэВ	Период полураспада, лет	Выход квантов на 100 распадов, K_γ	R/ε
^{226}Ra	1,765	1600	4	-
^{232}Th	2,615	$1,41 \cdot 10^{10}$	0,7	-
^{40}K	1,460	$1,26 \cdot 10^9$	11	-
^{134}Cs	0,796	2,1	91,7	82
^{137}Cs	0,662	33,2	92	60

Содержание отчета:

1. В отчете указать цель работы, теоретическую часть и показать блок-схему гамма-спектрометра.
2. Вычертить γ -спектр калибровки спектрометра.
3. Показать γ -спектр пробы минерала.
4. Показать площади наиболее интенсивных пиков основных радионуклидов и представить данные в таблице.

Контрольные вопросы

1. На каком принципе устроен γ -спектрометр на базе полупроводникового детектора?
2. Как производится калибровка спектрометра?
3. Как производят подготовку пробы для измерения?
4. Каковы нормативные показатели 1 и 2 классов материалов?

Лабораторная работа № 4:
Качественный и количественный анализ удельной активности ЕРН в образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре

Цель работы:

- изучение гамма-спектрометра на базе сцинтилляционного детектора и анализатора импульсов АИ-1024;
- определение удельных активностей естественных радионуклидов в образцах;
- расчет эффективной удельной активности естественных радионуклидов и погрешностей измерений.

Аппаратура и принадлежности

Для определения удельных активностей ЕРН применяют:

- гамма-спектрометр на базе сцинтилляционного детектора и анализатора импульсов (спектрометрический комплекс “Гамма плюс Р”),
- калибровочный источник $^{40}\text{K} + ^{137}\text{Cs}$,
- сосуды Маринелли, лабораторные весы, дробилка, сито с отверстиями диаметром 5 мм.



Рис – Сцинтилляционный гамма-спектрометр

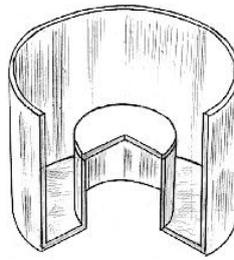


Рис. – Разрез сосуда Маринелли в изометрической проекции

Назначение сосуда Маринелли: при использовании сплошных кристаллов измеряемая проба помещается в контейнер, охватывающий кристалл (геометрия Маринелли). Сосуд Маринелли обеспечивает высокую чувствительность детектора при заданной массе пробы.

Теоретическая часть

Ионизирующее излучение естественных радионуклидов (ЕРН), присутствующих практически во всех объектах окружающей среды, создает радиационный фон. Наиболее существенное значение имеют ЕРН уранового, ториевого ряда (материнские радионуклиды уран-238 и торий-232), калий-40 [3].

Облучение человека в здании зависит от удельной активности ЕРН в строительных материалах. Удельная активность - активность, приходящаяся на единицу массы (массовая активность A_m):

$$A_m = \frac{A}{m}, \text{ Бк/кг}$$

Согласно действующим в России нормативам [3], удельная активность радионуклидов в строительных материалах, используемых во всех вновь строящихся жилых и общественных зданиях, не должна превышать для ^{226}Ra - 370 Бк/кг, для ^{232}Th - 259 Бк/кг и для ^{40}K - 4810 Бк/кг.

Величина эффективной удельной активности природных радионуклидов в строительных материалах определяется как взвешенная сумма удельных активностей ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K по формуле [7]:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31 A_{\text{Th}} + 0,085 A_{\text{K}}$$

где 1,31 и 0,085 - взвешивающие коэффициенты для тория-232 и калия-40 соответственно по отношению к радию-226.

Удельная эффективная активность ЕРН в строительных материалах, добываемых на их месторождениях или являющихся побочным продуктом промышленности, а также отходы промышленного производства, используемых для изготовления строительных материалов не должна превышать [1,3]:

а) для материалов, используемых во вновь строящихся жилых и общественных зданиях (1 класс):

$$A_{\text{эфф}} \leq 370 \text{ Бк/кг},$$

б) для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (2 класс):

$$A_{эфф} \leq 740 \text{ Бк/кг}$$

в) для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (3 класс):

$$A_{эфф} \leq 1,5 \text{ кБк/кг.}$$

Радиоактивные превращения описываются законом радиоактивного распада:

$$N = N_0 \exp(-\lambda t),$$

где N - число радиоактивных ядер в источнике, не распавшихся к моменту времени t ; N_0 - число радиоактивных ядер в источнике в начальный момент времени; λ - постоянная распада.

Период полураспада ($T_{1/2}$) - время, за которое распадается половина радиоактивных ядер в источнике:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda .$$

При всех видах радиоактивного распада высвобождается энергия, которая распределяется между дочерним ядром, испускаемыми частицами и гамма-излучением.

Таблица

Характеристики естественных радионуклидов

Название ЕРН	Период полураспада, лет	Энергия квантов, МэВ
^{226}Ra	1600	1,765
^{232}Th	$1,41 \cdot 10^{10}$	2,615
^{40}K	$1,3 \cdot 10^9$	1,460

Принцип работы гамма-спектрометра

Использование гамма-спектрометрического метода для определения радиоактивности строительных материалов обусловлено малой трудоемкостью, высокой чувствительностью и точностью.

Энергия гамма-кванта, попавшего на кристалл детектора Na(I) размерами 63х63 мм, идет на возбуждение атомов кристалла, которое снимается путем испускания атомами квантов света определенной длины волн.

Сцинтиллятор – вещество, в котором ионизирующая частица вызывает появление вспышек света. Ее интенсивность пропорциональна энергии, потерянной частицей на сцинтилляторе.

Световые кванты выбивают из фотокатода электроны, число которых умножается в фотоэлектронном умножителе. В результате на аноде ФЭУ возникает импульс напряжения, амплитуда которого пропорциональна энергии, потерянной γ -квантом в кристалле. После предусилителя импульс поступает на многоканальный анализатор АИ, где происходит его обработка: преобразование амплитуды в цифровой код и запись его в память многоканального анализатора.

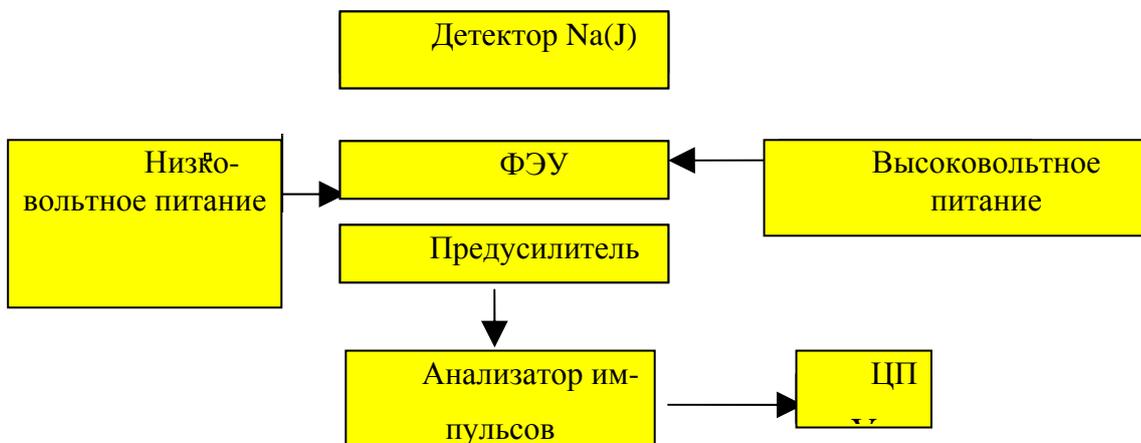


Рис - Блок-схема сцинтилляционного гамма-спектрометра

Накопленный в течение определенного времени спектр может быть выведен на внешние устройства хранения и отображения информации, такие как центральный пульт управления (компьютер).

Пример, накопленного в памяти анализатора спектра представлен на рис. По оси абсцисс отложен номер канала анализатора n , по оси ординат - количество отсчетов N . Амплитудное распределение состоит из фотопика 1, соответствующего импульсам от γ -квантов первичной энергии ЕРН, полностью поглотившихся в объеме кристалла, и непрерывного комптоновского распреде-

ления 2. Положение пика полного поглощения несет информацию об энергии γ -квантов, испускаемых источником, а количество отсчетов, зарегистрированных в фотопике - об активности источника.

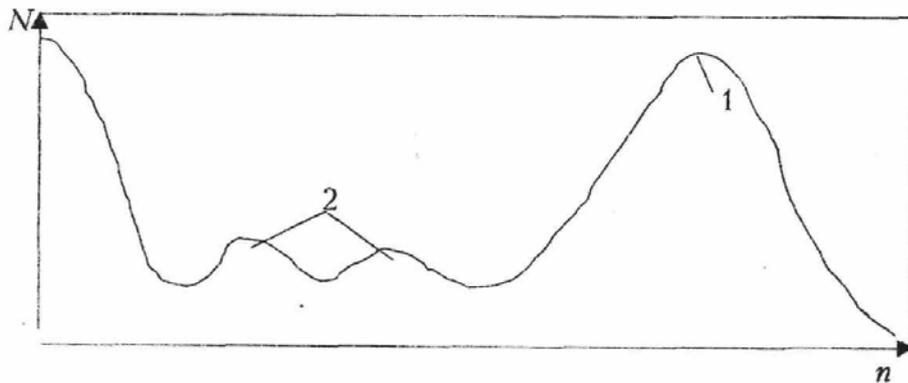


Рис - Спектр амплитуд импульсов с отсчетом N в зависимости от номера канала n .

Для определения положения пика необходимо найти номер канала, соответствующий центру тяжести пика по формуле (рис.):

$$n_{с.т.} = \frac{\sum_{i=n_1}^{n_2} N_i n_i}{\sum_i N_i},$$

где $n_{с.т.}$ - номер канала, соответствующий центру тяжести пика; n_1, n_2 - номера каналов, ограничивающие зону пика полного поглощения; N_i - число отсчетов в i -том канале.

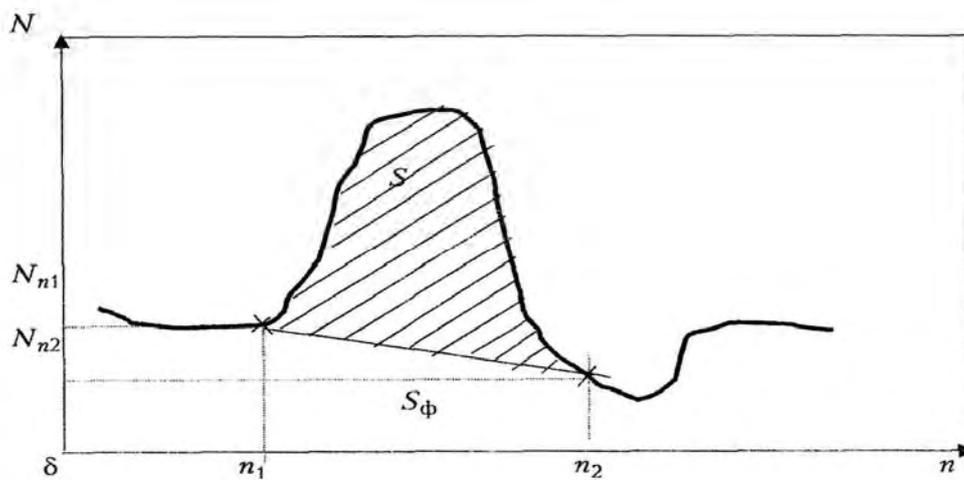


Рис.3. Пример накопления в анализаторе γ -спектра.

Определение площади пика полного поглощения производится по формуле:

$$S = S_n - S_{\text{тм}} = \sum_{i=n_1}^{n_2} N_i - \frac{N_{n_1} + N_{n_2}}{2} (n_2 - n_1 + 1),$$

где S_n - полная площадь фотопика, $S_{\text{ф}}$ - площадь фона под пиком; N_i - число отсчетов в i -том канале; n_1, n_2 - номера каналов.

Энергетическая градуировка гамма-спектрометра

Для проведения энергетической калибровки спектрометра используют радиоактивные источники, излучающие γ -кванты известных энергий. С помощью набора таких источников находят зависимость «номера канала», в котором находится центр «тяжести» пика, от энергии γ -квантов, соответствующих этому пику. Эта зависимость показана на графике (рис.), где по оси абсцисс отложен номер канала, а по оси ординат – энергия γ -квантов. E_1, E_2, \dots, E_6 - энергия гамма-квантов источников, используемых для градуировки спектрометра, n_1-n_6 - соответствующие им номера каналов центров «тяжести» пиков полного поглощения.

Для сцинтилляционных спектрометров с большой степенью точности кривая градуировки описывается уравнением:

$$E = A_n + B,$$

где A_n, B – константы, определяемые из системы линейных уравнений.

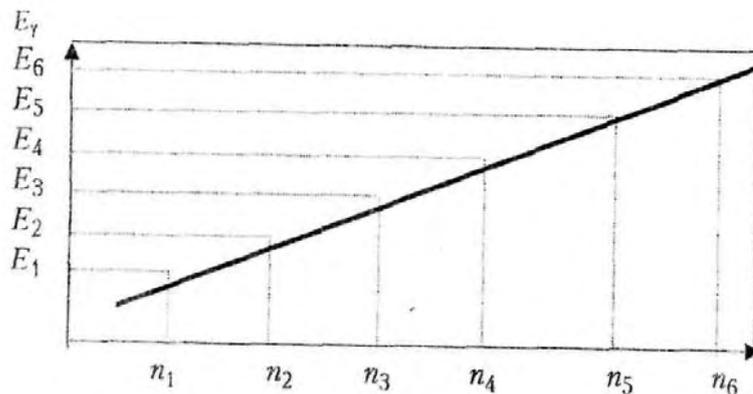


Рис - Зависимость номера канала от энергии γ -квантов

Определение удельных активностей ЕРН

Отбор проб и их подготовка к измерениям производится в соответствии с Методикой [6] и приведенной выше лабораторной работой № 2.

Для выполнения измерений применяют программную оболочку Прогресс 3.00.

Перед началом каждого измерения производится градуировка гамма- спектрометра. Для этого на детектор устанавливается калибровочный источник. При помощи программы производится измерение градуировочного спектра в течение 2,5 мин. Определяется пик ^{40}K и ^{137}Cs и рассчитываются границы измерительных каналов (в соответствии с программой). По окончании градуировки на детектор устанавливается сосуд Маринелли с измеряемой пробой.

Программа по команде оператора осуществляет очистку анализатора импульсов и запускает набор спектра. Набор спектра осуществляется в течение 30 минут. По окончании набора спектра оператор вводит параметры пробы (масса, геометрия измерения и др.) в программу.

Результаты измерений удельных активностей ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и оценочные значения погрешностей будут выведены на экран в таблицу результатов.

По команде оператора осуществляется печать результатов и информация о пробе в виде протокола.

В дальнейшем проводят измерения оставшихся четырех проб исследуемого образца, предварительно осуществляя градуировку спектрометра.

Обработка результатов и оценка погрешности измерений

В качестве результатов измерений удельных активностей ЕРН в представительной пробе принимают средние арифметические значения удельных активностей каждого радионуклида по пяти навескам:

$$A_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ij},$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ - номер навески.

Протокол испытаний по определению удельной эффективной

активности ЕРН в строительных материалах (изделиях):

1. Наименование организации проводившей измерения.
2. Дата проведения измерения.
3. Метод измерения.
4. Наименование материала (ГОСТ, ТУ).
5. Наименование предприятия-изготовителя (потребителя).
6. Результаты измерений представительной пробы.
7. Заключение о классе материала.

8. Должность и подпись лица, ответственного за проведение измерений.

Таблица 2

Результаты определения удельных активностей ЕРН в образцах

Номер навески	Удельная активность ЕРН, Бк/кг			Погрешность измерений	A _{эфф}
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th		
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					
4					
5					

Абсолютную погрешность определения величины вычисляют по формуле:

$$\Delta_j = 1,7 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_{ij}^2 - n A_j^2}{n-1}} + a_j,$$

где a_j - абсолютная погрешность определения удельной активности j -го радионуклида в навесках пробы, оцениваемая в соответствии с методикой выполнения измерений на радиометрической установке.

Значение удельной эффективной активности ЕРН ($A_{эфф}$) для представительной пробы вычисляются в соответствии с формулой (), используя для этого значения A_j для каждого радионуклида.

За абсолютную погрешность определения значения $A_{эфф}$ в контрольной точке принимают значение, определяемое по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{Ra}^2 + 1,7 \Delta_{Th}^2 + 0,007 \Delta_K^2},$$

За результат определения удельной эффективной активности ЕРН в контро-

лируемом материале и установления класса материала принимают значение, определяемое по формуле:

$$A_{\text{эфф.м.}} = A_{\text{эфф}} + \Delta.$$

Содержание отчета:

- указать название, цель работы, теоретическую часть и основные расчетные формулы;
- выполнить блок-схему сцинтилляционного гамма-спектрометра.
- сделать выводы об удельной активности ЕРН и классе строительного материала.

Контрольные вопросы:

1. Какие ЕРН строительных материалов нормируются в соответствии с НРБ-99/2009?
2. Назовите классы строительных материалов по радиационному признаку.
3. Что такое удельная активность ЕРН?
4. Как определяется эффективная удельная активность ЕРН строительных материалов?
5. Какие основные характеристики ЕРН Вы знаете?
6. Дайте определение периода полураспада.
7. Как производится пробоотбор и пробоподготовка образцов строительных материалов?
8. Назначение сосуда Маринелли.
9. На каком принципе регистрации основана работа спектрометрического комплекса “Гамма Плюс Р”?
10. Из каких элементов состоит сцинтилляционный гамма-спектрометр? Их назначение.
11. Каким образом производится градуировка спектрометра?

Лабораторная работа № 5:

Измерение эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе помещений и потоков радона с эманлирующих поверхностей

Цель работы:

изучить методики измерения и проведения анализа эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе помещения пассивным и активным пробоотбором; а также потоков радона с эманлирующих поверхностей.

Теоретическая часть

Радиоактивный инертный газ радон ^{222}Rn образуется при распаде радия-226, входящего в семейство урана-238. Источниками поступления радона в помещение являются: почва под зданием; эксхалация из строительных материалов; инфильтрация из атмосферного воздуха, поступающего в результате вентиляции; поступление из водопровода с водой и из газопровода с природным газом, используемым для отопления и кухонных нужд [9].

Самыми эффективными источниками поступления радона в помещении являются почва под зданием и строительные материалы.

Продукты распада, непосредственно следующие за ^{222}Rn , представляют собой радионуклиды с коротким периодом полураспада и называют их дочерними продуктами.

Для оценки опасности “загрязнения” помещений радоном-222 и его ДПР введено понятие эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона. ЭРОА радона – значение объемной удельной активности радона в равновесии с ДПР, которые имели бы такую же потенциальную альфа-энергию на единицу объема, как и существующая смесь [1-3]:

$$A_{Rn}^{\text{экв}} = F_{Rn} \cdot A_{Rn} = 0,104 A_{RaA} + 0,514 A_{RaB} + 0,382 A_{RaC},$$

где A_{Rn} , A_{RaA} , A_{RaB} , A_{RaC} – объемные активности радона и его ДПР, Бк/м³; F_{Rn} – коэффициент равновесия между радоном и его дочерними продуктами.

При измерении объемной активности радона в воздухе помещений принимается средний коэффициент равновесия между радоном и его дочерними продуктами распада $F_{Rn} = 0,5$.

Эквивалентная равновесная объемная активность радона $A_{Rn}^{\text{экв}}$ выражается в единицах Бк/м³ (Ки/л), а также в единицах “скрытой энергии” – Дж/л. Эта величина представляет собой сумму объемных активностей короткоживущих дочерних продуктов распада радона, причем каждая берется с коэффициентом, пропорциональным суммарной энергии продукта. Для радона $A_{Rn}^{\text{экв}} = 1$ Бк/м³ соответствует уровню скрытой энергии, равной 5,34 пДж/л.

Определение объемной активности радона в помещениях и потоков радона с эманлирующих поверхностей осуществляется на установке “Гамма Плюс Р” с использованием сцинтилляционного детектора. Сцинтилляционный метод дозиметрии основан на регистрации вспышек света, возникающих на сцинтилляторе под действием излучения.

Практическая часть

Контроль радоноопасности участка. При отводе участков под застройку необходимо исследовать их радоноопасность и определить класс противорадоновой защиты зданий.

Таблица

Категория радоноопасности участков под застройку и требования к противорадоновой защите зданий [9]

Категория радоноопасности	Средняя по площади плотность потока радона, Бк/(м ² ·ч) / мБк/(м ² ·с)	Требования к проектированию зданий
I	менее 100 / менее 28	Допускается строительство зданий без противорадоновой защиты
II	от 100 до 300 / от 28 до 84	Должна применяться умеренная противорадоновая защита зданий
III	более 300 / более 84	Должна применяться усиленная противорадоновая защита зданий

Контроль объемных активностей радона и ДПР в воздухе помещений

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) устанавливают ограничения на содержание радона и ДПР в воздухе помещений.

При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения [4] должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая ЭРОА радона и ДПР в воздухе помещений не превышала 100 Бк/м³.

В эксплуатируемых зданиях среднегодовая ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений [4] не должна превышать 200 Бк/м³. При больших значениях объемной активности радона должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений.

Лабораторные приборы:

Гамма-спектрометр “Гамма Плюс Р”,
 адсорберы СК-13,
 активированный уголь СКТ-3С, емкость для хранения угля,
 измерительный контейнер ИК-63,
 пробоотборное устройство АЭН-3,
 ротаметр для пробоотбора (2 л/мин),

переходники к СК-13,
накопительные камеры НК-32, предохранительные крышки к НК-32,
бытовая электроплита, противень для регенерации активированного угля.



Рис – Оборудование для отбора проб ^{222}Rn

Экспериментальная часть

Методика определения эквивалентной равновесной объемной активности ^{222}Rn и его ДПР в воздухе помещений пассивным пробоотбором

Данная методика [5] позволяет определить среднюю объемную активность радона в воздухе помещений в диапазоне от 15 Бк/м^3 до 100000 Бк/м^3 , при этом нижнее значение составляет 15 Бк/м^3 при использовании 5 адсорберов; 20 Бк/м^3 - 4 адсорберов; 25 Бк/м^3 - 3 адсорберов; 35 Бк/м^3 - 2 адсорберов; 70 Бк/м^3 - 1 адсорбера. Следовательно, чем больше адсорберов используется для отбора проб, тем выше точность измерений.

Порядок проведения работы: Проводится подготовительная работа. Активированный уголь регенерируется на противне и бытовой электроплите при температуре нагрева $100\text{-}160 \text{ }^\circ\text{C}$ и продолжительности десорбции - 1 ч. При этом толщина слоя угля на противне не должна превышать 5 мм. По окончании десорбции уголь пересыпается в герметично закрывающуюся термостойкую емкость (объемом не более 1 л) для остывания и хранения. После остывания регенерированный уголь засыпается в адсорберы (высота слоя угля в адсорбере составляет $4,5 \pm 0,2$ см), которые плотно закрываются крышками.

Определяют число адсорберов, подлежащих одновременному экспонированию в обследуемом помещении для достижения необходимой точности измерений.

На лабораторных весах определяют начальную массу (m_n , г), закрытого адсорбера с регенерированным углем.

В обследуемом помещении необходимое число адсорберов без верхних крышек размещают на 2-7 суток в вертикальном положении на высоте 1-2 м от пола, вдали от источников тепла, влаги, сквозняков (адсорберы размещают в разных точках помещения).

По окончании экспонирования адсорберы плотно закрывают крышками и упаковывают в полиэтиленовый пакет, после чего доставляют в лабораторию. На лабораторных весах определяют конечную массу (m_k , г), закрытого адсорбера, которая будет заметно отличаться от (m_n).

Рассчитывают прибавку к массе адсорберов (M , г) за время экспонирования по формуле:

$$M = 1/n \cdot \sum_{j=1}^{j=n} (m_{kj} - m_{nj}),$$

где: m_{kj} – масса j -го адсорбера после экспонирования; m_{nj} – масса j -го адсорбера перед экспонированием; n – число адсорберов, одновременно экспонированных в одном помещении (от 1 до 5).

Из адсорберов, одновременно экспонированных в одном помещении активированный уголь пересыпают в измерительный контейнер ИК-63 и на гамма-спектрометре проводят измерение средней объемной активности радона в воздухе помещений.

Измерение средней объемной активности радона в воздухе помещений допускается выполнять сразу после окончания экспонирования. Временной интервал между окончанием экспонирования и началом измерений не должен превышать 24 ч.

Для расчетов эквивалентной равновесной объемной активности радона (ЭРОА) значение средней объемной активности радона умножается на 0,5. Полученный результат сравнивается с нормативными величинами. Результаты измерений оформляются в табл.

Таблица

Определение эквивалентной равновесной объемной активности радона (ЭРОА) в воздухе помещений при использовании пассивного пробоотбора

№ адсорбера	Число адсорберов	Дата и время			Начальная масса адсорбера, m_n	Конечная масса адсорбера, m_k	Привес $M, г$	Активность сорбента, Бк	Средняя объемная активность, Бк/м ³	Объемная активность радона, Бк/м ³	ЭРОА радона, Бк/м ³	Адрес помещения
		начала экспонирования	окончания экспонирования	начала измерений								
1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	

Методика определения эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе помещений активным пробоотбором

Данная методика позволяет определять объемную активность в воздухе помещений в следующем диапазоне: от 15 Бк/м³ до 100000 Бк/м³, при этом нижнее значение составляет 15 Бк/м³ при использовании 3 адсорберов и продолжительности пробоотбора 25 минут; 25 Бк/м³ – 2 адсорберов и продолжительности пробоотбора 15 минут; 160 Бк/м³ – 1 адсорбера и продолжительности пробоотбора 2,5 минуты [5].

Предел допустимой основной относительной погрешности составляет не более $\pm 30 \%$.

Порядок проведения работы: Проводится подготовительная работа. Определяют число подготовленных адсорберов (от 1 до 3), подлежащих установке, для достижения необходимой точности.

Берут необходимое число подготовленных адсорберов и собирают сорбционную колонку, последовательно соединив адсорберы между собой переходными трубками, соединяют ее с пробоотборным устройством, а затем сверху устанавливают ротаметр на сорбционную колонку. Пробоотборное устройство включают в сеть.

В течение отбора контролируют расход воздуха по ротаметру. Поплавок ротаметра должен находиться в пределах отметок на шкале индикатора (между двумя рисками). При несоответствии показателей ручкой регулятора производительности пробоотборного устройства устанавливают поплавок в нужное положение.

По истечении времени отбора выключают пробоотборное устройство, разбирают сорбционную колонку и плотно закрывают адсорберы крышками.

Интервал времени между окончанием пробоотбора и началом измерений составляет от 3 до 24 ч. По истечении этого времени из адсорберов активированный уголь пересыпается в измерительный контейнер ИК-63. После этого определяют объемную активность радона на гамма-спектрометре «Гамма Плюс Р». Результаты измерений оформляются в виде табл.

Таблица

Определение эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе помещений при использовании активного пробоотбора

№ адсорбера	Число адсорберов, подлежащих одновременной прокачке	Дата и время		Продолжительность		Активность сорбента, Бк	Объемная активность, Бк/м ³	ЭРОА, Бк/м ³	Место отбора (адрес)
		окончания от-	начала измерения	отбора, мин.	хранения, ч				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Методика измерений потоков радона с эманлирующих поверхностей грунта

Методика позволяет определять средние потоки радона с эманлирующих поверхностей в следующем диапазоне от 2 мБк/(м²·с) до 100 мБк/(м²·с), при этом нижнее значение составляет 2 мБк/(м²·с) при одновременном экспонировании 5 накопительных камер; 2,5 мБк/(м²·с) – 4 камер; 3,3 мБк/(м²·с) – 3 камер; 5,0 мБк/(м²·с) – 2 камер, 10 мБк/(м²·с) – 1 камеры [5].

Данная методика используется при температуре воздуха от +5 °С до +30°С и влажности не более 95 %.

Предел допускаемой погрешности составляет не более ± 30 %.

Порядок проведения работы:

Проводится подготовительная работа. Для достижения необходимой точности берут нужное число накопительных камер. Для каждой камеры нужно подготовить по два адсорбера.

Исследуемый участок земной поверхности очищают от предметов, препятствующих установке камер.

Берут два подготовительных адсорбера, из одного пересыпают активированный уголь в сборник так, чтобы уголь был равномерно распределен на поверхности сетки, а на другой «защитный» адсорбер надевают предохранительную

крышку и вставляют его в горловину камеры. Аналогичным образом подготавливают требуемое число камер.

Измерения плотностей потоков радона проводят в контрольных точках методом «конверта» в зависимости от категории потенциальной радоноопасности участка [5] согласно табл.

Таблица

Шаг сетки расположения контрольных точек

Категория потенциальной радоноопасности участка	Минимально допустимый шаг сетки, расположения контрольных точек, м	
	на незастраиваемой площади участка	на участке, под застройку зданий
I	–	12,5×12,5
II	100×50	12,5×6,25
III	50×25	6,25×6,25

Накопительные камеры вдавливают до упора в исследуемую поверхность грунта (в случаях твердых поверхностей нижний край необходимо загерметизировать с исследуемой поверхностью).

Время экспонирования не должно превышать 10 ч. По окончании экспонирования отсоединяют от накопительной камеры «защитный» адсорбер, а на его место устанавливают адсорбер, из которого был пересыпан активированный уголь. Снимают камеру с исследуемой поверхности и пересыпают уголь обратно в адсорбер, который затем плотно закрывают крышками.

Интервал времени между окончанием пробоотбора и началом измерений составляет от 3 до 24 ч. По истечении этого времени из адсорберов активированный уголь пересыпается в измерительный контейнер ИК-63. После этого проводятся измерения средних за время экспонирования потоков радона с исследуемой поверхности на гамма-спектрометре «Гамма Плюс Р». Результаты измерений оформляются в виде табл.

Таблица

Определение потоков радона с эманулирующих поверхностей

№ адсорбера	Число накопительных камер	Дата и время			Активность сорбента, Бк	Значение среднего потока радона с эманулирующих поверхностей, мБк/(м ² ·с)	Место отбора	Примечание
		начала экспонирования	окончания экспонирования	начала измерений				
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Содержание отчета

Отчет по определению эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе помещений при использовании пассивного пробоотбора:

- указать теоретическую часть, цель работы, последовательность ее выполнения;
- привести формулу для определения привеса к массе адсорберов за время экспонирования;
- результаты измерений оформляются в табл.;
- выводы и оценка полученных результатов производится со ссылками на нормативные документы.

Отчет по определению эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе помещений при использовании активного пробоотбора:

- указать цель работы, последовательность ее выполнения;
- результаты измерений оформляются в табл.;
- выводы и оценка полученных результатов производится со ссылками на нормативные документы.

Отчет по определению потоков радона с эманлирующих поверхностей:

- указать цель работы, последовательность ее выполнения;
- результаты измерений оформляются в табл.;
- выводы и оценка полученных результатов производится со ссылками на нормативные документы.

Контрольные вопросы:

1. Основные источники поступления радона в помещения.
2. Что такое эквивалентная равновесная активность радона? Единицы измерения ЭРОА?
3. С какой целью определяют ЭРОА?
4. Какова формула определения ЭРОА?
5. Основные отличия пассивного и активного пробоотбора при определении ЭРОА.
6. От чего зависит погрешность в данных методах измерений?
7. Как устанавливаются накопительные камеры при измерениях потоков радона с эманлирующих поверхностей?

Лабораторная работа № 6 :
Оценка защиты для снижения
мощности эквивалентной дозы в помещениях

Цель работы:

- изучить механизм испускания и поглощения гамма-излучения веществом;
- рассмотреть эффективные способы снижения мощности дозы в помещениях.

Теоретическая часть

Гамма-излучение представляет собой электромагнитное излучение с длиной волны $\lambda \leq 0,2$ нм. Излучение и поглощение электромагнитных волн с такой малой длиной волны имеет явно выраженный квантовый характер. Источником гамма-излучения являются возбужденные атомные ядра.

Атомные ядра обладают дискретным набором энергетических состояний (уровней). Состояние с минимальной энергией E_{\min} называют основным, с любой другой энергией $E \geq E_{\min}$ – возбужденным. При переходе ядра с более высокого энергетического уровня с энергией E_2 , на более низкий с энергией E_1 , ядро испускает гамма-фотон, энергия которого $E = E_2 - E_1$.

Если атомные ядра обладают набором возбужденных состояний, они могут быть источником гамма-фотонов с различными дискретными значениями энергии E . Так, к примеру, ядра ^{131}J при радиоактивном превращении испускают гамма-фотоны с энергией 0,08; 0,163; 0,284; 0,364; 0,637; 0,722 МэВ.

В некоторых радиоактивных ядрах (радионуклидах) вероятным является только один квантовый переход между двумя энергетическими состояниями. Такие радионуклиды являются источниками монохроматического гамма-излучения. К числу их относятся, например ^{40}K , испускающий монохроматические гамма-фотоны с энергией 1,46 МэВ [1, 2].

Источником гамма-излучения являются ядра, образующиеся при различных ядерных реакциях, и дочерние ядра, возникающие при радиоактивных превращениях в возбужденном состоянии. При этом испускают гамма-фотоны не только радиоактивные, но и возбужденные, стабильные ядра.

Гамма-излучение возникает также при распаде элементарных частиц, аннигиляции пар “частица-античастица”, торможением быстрых заряженных частиц в среде и некоторых других процессах.

При прохождении через вещество гамма-излучение поглощается. Для создания эффективной защиты от этого излучения необходимо знать механизм и закономерности поглощения. Установлено, что поглощение гамма-фотонов, в ос-

новном, обусловлено фотоэффектом, комптоновским рассеянием и образованием электронно-позитронных пар.

Фотоэлектрическое поглощение. Проходя через вещество, гамма-фотоны сталкиваются с электронами атомов поглощающего вещества. Одним из результатов таких столкновений является выбивание электронов из атомов - фотоэффект. Гамма-фотоны при фотоэффекте полностью поглощаются выбиваемым электроном. Фотоэффект происходит на внутренних электронах атома, в основном, на электронах *K*-оболочки.

Вероятность фотоэффекта зависит от атомного номера Z поглощающего вещества и растет пропорционально Z^5 . Фотоэлектрическое поглощение гамма-излучения существенно только для электронов элементов с большим Z , в частности, для свинца, у которого $Z = 82$.

Зависит фотоэлектрическое поглощение от энергии гамма-фотонов и резко уменьшается с ее увеличением. При малых энергиях (E_γ) уменьшение гамма-фотонов наиболее вероятно за счет фотоэффекта. «Малость» значений E_γ определяется атомным номером Z поглотителя. К примеру, в алюминии ($Z = 13$) фотоэффект заметно ослабляет гамма-излучение при $E < 0,32$ пДж (2,0 МэВ), а в свинце при $E_\gamma < 0,08$ пДж (0,5 МэВ).

Если энергия гамма-фотонов значительно больше энергии связи электронов в атоме, основную роль в поглощении гамма-излучения веществом начинает играть комптоновское рассеяние.

Комптоновское рассеяние. Этот вид взаимодействия электронного излучения с веществом состоит в упругом рассеянии гамма-фотонов на свободных электронах вещества. Связанные атомные электроны являются практически свободными, если энергия налетающего фотона $E_\gamma \gg E_{св}$ ($E_{св}$ - энергия связи электрона в атоме). Гамма-фотон передает часть своей энергии свободному электрону и изменяет направление своего движения - рассеивается. Уменьшение энергии гамма-фотона зависит при этом только от угла рассеяния.

Комптоновское рассеяние ослабляет гамма-излучение не только за счет уменьшения энергии гамма-фотонов в результате одного или нескольких последовательных актов, но и их более интенсивного фотоэлектрического поглощения связанными электронами.

Вероятность этого рассеяния ($\sim Z$) гораздо слабее зависит от атомного номера поглотителя, чем вероятность фотоэлектрического поглощения. Для легких электронов, например, алюминия, комптон-эффект вносит заметный вклад в поглощение гамма-излучения при значениях энергии $0,08$ пДж (0,5 МэВ) $< E_\gamma < 1,68$ пДж (15 МэВ). В свинце - ослабление гамма-излучения за счет комптоновского рассеивания происходит при $0,08$ пДж $< E_\gamma < 0,8$ пДж.

Образование электронно-позитронных пар. При энергии E_γ , превышающей 0,16 пДж (энергия покоя электрона), наряду с фотоэлектрическим поглощением и комптоновским рассеянием происходит уничтожение гамма-фотонов за счет образования электронно-позитронных пар ($e^- + e^+$).

Рождение электронно-позитронной пары происходит лишь в кулоновском поле какой-либо частицы. Такой частицей в веществе может быть электрон или ядро.

Вероятность возникновения электронно-позитронных пар пропорциональна Z^2 . При энергии гамма-фотонов E_γ , в несколько раз превышающей 0,16 пДж, образование пар электрон-позитрон и комптоновское рассеяние являются преобладающими процессами, приводящими к ослаблению гамма-излучения веществом. При более высоких значениях E_γ , образование электронно-позитронных пар является основной причиной поглощения гамма-излучения, особенно для тяжелых металлов. Так, в свинце поглощение гамма-фотонов за счет образования пар ($e^- + e^+$) уже при энергии $E_\gamma = 0,8$ пДж становится преобладающим.

Для гамма-излучения характерна очень низкая вероятность взаимодействия с веществом. Это означает, что фотоэлектрическое поглощение, комптоновское рассеяние и образование электронно-позитронных пар при прохождении гамма-излучения через вещество происходит достаточно редко. При уменьшении расстояния между поглощающим слоем и источником гамма-фотонов число рассеянных гамма-фотонов, попадающих в детектор, возрастает.

Учитывая вышеизложенное, следует констатировать: фоновое гамма-излучение, испускаемое минералами строительных материалов, мало; защитные материалы (отделка помещения) имеет сравнительно со свинцом низкую плотность и Z ; защитные материалы вплотную расположены к источнику гамма-фотонов (строительному материалу здания). Эти факторы учитываются при расчете материалов, снижающих мощность дозы в помещении. То есть применяется защита от гамма-излучения только веществом (отделочными материалами), а не защита расстоянием.

Методика расчета толщины защиты для снижения мощности дозы в помещении [7]

Определяется радиационная обстановка (мощность дозы, при необходимости – $A_{эфф}$ и коэффициент эманирования материала) в помещении [4,5].

Экспозиционная доза ($D_э$) равна:

$$D_э = dQ_x / dm = dQ_x / \rho \cdot dV, \text{ Кл/кг}$$

или

$$D_э = M \cdot 8,4 t / R^2, \text{ Р,}$$

где dQ_x – сумма электрических зарядов одного знака всех ионов в элементе объема воздуха (dV) массой (dm), образованных электронами эмиссии, вызванных

гамма-квантами, при условии полного торможения; ρ - плотность материала, кг/м³; M – гамма-эквивалент источника, мг·экв Ra; 8,4 – гамма-постоянная Ra в равновесии с дочерними продуктами; R - расстояние от источника (в нашем случае плоскости стены, пола или потолка), м; t – время работы с источником, ч.

В системе СИ единица экспозиционной дозы – Кл/кг. Мощность экспозиционной дозы P – экспозиционная доза в секунду (Кл/кг·с):

$$P = dD_s / dt = M \cdot 8,4 / R^2, \text{ Р/ч}$$

Мощность дозы гамма-излучения в помещениях зависит от радиоактивности использованных в них строительных материалов. Для определения мощности дозы гамма-излучения стен, потолка, пола помещения при $R = 0$ измерения проводят в 3-5 точках и усредняют значения.

Определяется стандартное отклонение и коэффициент вариаций значений. Большое значение коэффициента вариаций ($>0,2$) свидетельствует о недостаточной однородности сырья строительных материалов помещения. Выясняется причина большого разброса значений мощности доз или повышенное значение (по сравнению с МД на открытой местности) и принимается решение о защитных противорадиационных мероприятиях.

Далее определяется кратность ослабления (K) ионизирующего излучения. Необходимую кратность ослабления определяют как отношение мощности дозы к предельно допустимым величинам для населения конкретного региона [1-3].

Следующим этапом является выбор строительного материала и оценка толщины защитного слоя. При этом учитывается два критерия – безопасность и экономическая целесообразность выбора материала. В зависимости от плотности материала ρ и $A_{эфф}$ их применение выбирается при соответствующей кратности ослабления. Для смеси радионуклидов ⁴⁰K, ²³²Th и ²²⁶Ra $A_{эфф}$ должно быть < 370 Бк/кг. В расчете используется наибольшая энергия из трех указанных радионуклидов – ²³²Th.. $E_{Th} = 2,6$ МэВ.

В условиях нашей конкретной задачи определяется усредненная мощность эквивалентной дозы в помещении, создаваемая шестью прямоугольными плоскими источниками (четыре стены, пол и потолок). Поэтому формула для расчета суммарного поля излучения источника такой геометрической формы состоит из шести i-функций плоских источников и описывается в виде (см. рис.):

$$\varphi_{\text{сум}} = S/4\pi [\pi/2 \cdot E(a) + \varphi_1(m;a;n) + \varphi_2(m;a;n) + \varphi_3(m;a;n) + \varphi_4(m;a;n) + \varphi_5(m;a;n) + \varphi_6(m;a;n)];$$

где S – активность источника; E – энергия нуклида, МэВ; a – толщина защиты, см;

$$\varphi_i = A \cdot M \cdot 8,4 \Phi(m;a;n);$$

$$n=h/\ell; \quad m=\ell/b.$$

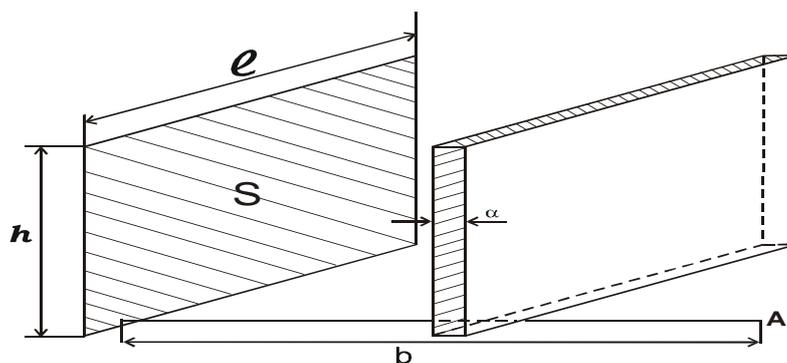


Рис - Схема плоского источника излучения S , защитного материала с толщиной a и расстоянием b , от стены (источника) до точки детектирования A

Для моноэнергетических источников переход от плотности потока частиц и интенсивности излучения осуществляется путем умножения правой части формулы () на энергию частиц E . Переход к мощности дозиметрической величины (например, мощности экспозиционной дозы, мощности эквивалентной дозы и т.д.) осуществляется путем замены в правой части сомножителя ($S/4\pi$) на сомножитель $A \cdot M \cdot 8,4$ – полной активности источника, где M – гамма-постоянная радионуклида по мощности дозиметрической величины (формула 1). Если A – активность выражена в Бк, расстояние b от источника до детектора A в м, а гамма-постоянная в мкГр·м/(с·Бк); мкЗв·м/(с·Бк) или мкР· м/(с·Бк), то мощность дозиметрической величины будет выражена в мкГр/с, мкЗв/с или мкР/с соответственно.

Таким образом, суммарное значение измеренной величины соответствует значению активности от шести плоских прямоугольных источников, то есть $\varphi_{\text{сум}} = 6 \varphi_i$ с точностью $\pm 15\%$ (см. табл.).

Таблица

Изменение удельной активности (Бк) при разных значениях МЭД, расстояния b , точки детектирования A до плоскости стены (источника S) и коэффициента m

φ , м	m	МЭД, мкР/ч				
		50	40	30	20	10
при $h=3\text{м}; \ell=3\text{м}; n=1$						
1	3	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01
2	1,5	0,24	0,34	0,24	0,16	0,08
3	1	0,5	0,63	0,45	0,3	0,15
4	0,75	0,95	0,91	0,67	0,45	0,22
5	0,6	1,48	1,2	0,9	0,6	0,3
при $h=2,5\text{м}; \ell=5\text{м}; n=0,5$						
1	5	0,07	0,56	0,038	0,025	0,018
2	2,5	0,43	0,76	0,32	0,22	0,14

3	1,7	0,79	0,96	0,6	0,41	0,26
4	1,25	1,15	0,16	0,87	0,6	0,38
5	1,0	1,51	1,36	0,15	0,8	0,5

Из таблицы видно, что диапазон показателей активности изменяется в комнатах с различной площадью (от 4 до 30 м²) в пределах $1 \div 6 \cdot 10^{-6}$ г-экв Ra, то есть ничтожно мало.

Следует также учесть, что снижаемая МЭД должна иметь рассчитанное значение в пределах всей площади комнаты, измеряется с точностью погрешности прибора ($\pm 10\%$) и незначительно зависит от расстояния детектора до любой точки плоскости источника (стены, потолка. Расчет толщины защитных материалов сводится к определению 1/6 значений по таблице 2 с конкретной кратностью ослабления и плотностью выбранного материала.

Таблица

Расчетное значение толщины защитного материала, см,
принятые для практического использования

при необходимой кратности ослабления и плотности материала ρ , г/см³

Кратность ослабления	Толщина защиты a , см и значения рассчитанных коэффициентов	Кратность ослабления	Толщина защиты a , см и значения рассчитанных коэффициентов
0,1	1,72-0,5 ρ	1,0	20,0-6,4 ρ
0,2	3,5-0,9 ρ	1,5	29,7-9,1 ρ
0,3	5,5-1,6 ρ	2,0	44,9-18,4 ρ
0,4	7,8-2,3 ρ	5,0	89,9-38,4 ρ
0,5	9,7-2,9 ρ	10,0	118,2-51,2 ρ
0,6	11,7-3,5 ρ	20,0	147,4-63,1 ρ
0,7	14,0-4,3 ρ	50,0	189,6-76,4 ρ
0,8	15,4-4,7 ρ	100,0	206,4-79,8 ρ
0,9	18,1-5,6 ρ	200,0	234,5-87,4 ρ

Защитные материалы от повышенного гамма-фона в помещении

Для снижения гамма-фона в помещении следует использовать материалы с высокой плотностью и низкой эффективной удельной активностью ($A_{эфф}$ материала защиты должна быть меньше или равна $3A_{эфф}$ материала стен и перекрытий). К материалам с высокой плотностью следует отнести бетоны, стекло, гранит, тяжелые камни, цементные камни и т.д. Однако эти материалы имеют высокую $A_{эфф}$. Для снижения гамма-фона в помещении следует применять материалы

на основе полимеров: пленка, листы, рулонные и вспененные материалы, плиты и др. отделочные материалы. Эти материалы обладают рядом ценных физико-механических и др. свойств. Средняя плотность их может колебаться от 10 до 2000 кг/м³, прочность может достигать до 200 МПа и более. Эти и другие свойства характеризуют полимерные материалы как универсальные. Такие материалы могут удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к материалам и конструкциям для снижения мощности экспозиционной дозы [6].

Для получения полимерных материалов используются два способа: термохимический и радиационно-химический. В настоящее время более распространен термохимический способ производства. Однако он имеет существенный недостаток - неполная степень преобразования (конверсии) полимеров. Этот недостаток приводит в ряде случаев к повышенным химическим показателям в материале.

При радиационно-химическом способе производства конверсия полимеров при их отверждении практически полная, а затраты энергии на производство единицы продукции значительно меньше, чем при термохимическом способе. Эти материалы могут быть конкурентоспособными для использования в помещениях с высокими мощностями доз. Эффективные удельные активности внедренных в производство материалов в 10-15 раз ниже традиционных (см. таблицу 3). Испытания материалов в помещениях показали снижение МЭД до 6 раз.

Таблица

Основные показатели материалов, полученных на основе радиационно-химической технологии

Характеристика материалов	Радиационно-модифицированные		Многоцветные плитки с радиационно-отверждаемым лаковым покрытием	
	волокнистые плиты	мраморо-видные гипсо-полимерные плиты	на основе термопластов с наполнителем (20:80)	на основе реактопластов с наполнителем (20:80)
Размеры (длина, ширина, толщина), мм	2500x1200x4-20	600x400x10-15	300x200x3	300x200x3
Плотность, кг/м ³	1100-1200	1800-2100	2000-2100	1900-2000
Содержание полимера, %	18-25	10-15	15-20	15-20
Предел прочности при изгибе				

при сжатии	40-50 100-120	25-35 60-100	40-45 -	15-20 -
Степень истираемости, г/см ²	0.04	0.05-0.1	-	-
Эффективная удельная активность, Бк/кг	6.4-8.8	1.8-5.4	18.4-20.2	18.4-20.2

Примеры расчета:

1. В помещении, площадью 20 м² (4 х 5 м²) и высотой 3 м зарегистрирована мощность эквивалентной дозы 32 мкР/ч, что является превышением мощности дозы на открытой местности на 21 мкР/ч. Принято решение снизить гамма-фон в помещении в 2 раза (т.е. кратность ослабления K=2). По анализу материал перекрытия в доме имеет $A_{эфф}=385$ Бк/кг, а материал стен =370 Бк/кг.

Рассчитаем коэффициенты m и n (см. рис).

При $h=3$ м, $\ell=5$ м, и $b=2,5$ (см. табл.) $n=0,6$, $m=2$ изменение удельной активности равно $\sim 0,13$ по каждой плоскости.

Для снижения гамма-фона выбираем волокнистую модифицированную плиту (см. табл. 3). Далее по таблице при кратности ослабления, равной 2, выбираем значение расчетных коэффициентов (44,9-18,4 ρ). Общая толщина защитного выбранного материала при $\rho=1,2$ г/см³ равна $a=22,8$ см. Значит толщина защитного материала (стен и потолка) равна 1/6, т.е. 3,7 см.

2. При определении гамма-фона в помещении получена мощность дозы 10 мкР/ч. Указанная мощность дозы не превышает нормы. Однако принято решение снизить мощность дозы в 2 раза, т.е. $K=2$. Защиту выполнить из полимерного материала с $\rho=1,6$ г/см³.

По таблице при кратности ослабления 2 выбирается значение расчетных коэффициентов и рассчитывается толщина защитного материала:

$$a = 44,9 - 18,4 \cdot 1,6 = 15,46 \text{ см.}$$

Истинная толщина для каждой плоскости равна 1/6, т.е. 2,8 см, а $P = 10/2 = 5$ мкР/ч.

3. Мощность дозы в построенном помещении 75 мкР/ч и превышает норму в 1,5 раза. Принято решение снизить мощность дозы до нормы (в 1,5 раза). $K=1,5$. Защиту выполнить из гипсополимерных радиационно-модифицированных плит с $\rho=2,3$ г/см³.

По таблице 2 при кратности ослабления 1,5 выбирается значение коэффициентов и рассчитывается толщина:

$$a = 29,7 - 9,1 \cdot 2,3 = 8,77 \text{ см.}$$

Толщина материала для снижения радиационного фона в этом случае равна $8,77/6=1,5$ см, а мощность дозы будет снижена до $P=75/1,5=50$ мкР/ч.

Содержание отчета:

- указать цель работы, теоретическую часть и расчетные формулы;
- выполнить задания, связанные с расчетом толщины защитных материалов по формулам и таблицам;
- сформулировать выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое гамма-излучение?
2. В каких единицах измеряется энергия гамма-излучения?
3. Что такое фотоэлектрическое поглощение?
4. Что такое электронно-позитронные пары?
5. Чему равна экспозиционная доза?
6. Чему равна мощность экспозиционной дозы?
7. По каким параметрам производится выбор защитного материала?
8. Что влияет на мощность экспозиционной дозы?
9. По каким основным характеристикам рассчитывается защитный материал?

Библиографический список:

1. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – М.: Энерготомиздат, 1991. – 351 с.
2. Моисеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – М.: Энерготомиздат, 1990. – 428 с.
3. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарно-гигиенические нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09). – М. Утв. 02.07.2009 г. – 66 с.
4. Дозиметрические и радиометрические приборы: Каталог приборов, оборудования и услуг для ЛРК. – М.: ЦНИИ Атоминформ, 1995. – 37 с.
5. Методические рекомендации Госстандарта РФ, Измерения мощности доз, emanации радона и эффективных удельных активностей материалов. – М.: ВНИИФТРИ, 1998. – 56 с.
6. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные: Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. – М.: Госстандарт, 1994. - 8 с.
7. Сидельникова О.П. Радиационный контроль в строительной индустрии: Учебное пособие. – М.: АСВ, 2002. – 321 с.
8. Сидельникова О.П., Козлов Ю.Д. Влияние активности естественных радионуклидов строительных материалов на радиационный фон помещений: Учебное пособие. – М.: Энерготомиздат, 1996. – 160 с.
9. Сидельникова О.П. Радиационная безопасность в зданиях: справочник – М.: Энерготомиздат, 2006. – 328 с.

План выпуска учеб.-метод. документ. 2014 г., поз. 61

Публикуется в авторской редакции

Подписано в свет 28.01.2014.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 2,6. Объем данных 715 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru