

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

Н. С. Крючек, О. А. Морозова, В. А. Новикова

**ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ОБЪЕКТОВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
для студентов всех специальностей**

Гомель 2009

УДК 355.58+614.876(075.8)
ББК 68.9я73
К85

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 3 от 10.03.2008 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Физика» ГГТУ им. П. О. Сухого *И. И. Злотников*

Крючек, Н. С
К85 Защита населения и хозяйственных объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность : лаборатор. практикум для студентов всех специальностей / Н. С. Крючек, О. Ю. Морозова, В. А. Новикова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 42 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Изложены методики расчетов параметров ионизирующих излучений, приведены расчетные формулы. Рассмотрены способы защиты от ионизирующих излучений и их эффективность. Для студентов всех специальностей.

**УДК 355.58+614.876(075.8)
ББК 68.9я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2009

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БЫТОВЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- закрепить теоретические знания переносных дозиметрических приборов;
- получить практические навыки в измерении мощности экспозиционной (полевой эквивалентной) дозы гамма-излучения, плотности потока бета-излучения с загрязненных радионуклидами поверхностей бытовыми дозиметрическими приборами.

2. УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- бытовые дозиметрические приборы типа АНРИ-01 «Сосна» РКС-104Б – по 1 к-ту;
- носилки санитарные – 1 шт.;
- камера защитная детская – 1 шт.;
- защитная фильтрующая одежда – 1 к-т;
- крупы разные (пшеничная, овсяная или др.) – 1 кг.

3. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

3.1. Понятие экспозиционной дозы и ее мощности

Состояние радиационной обстановки на местности или в помещении характеризует экспозиционная доза. Экспозиционная доза рассматривается только для воздуха и только для гамма- и рентгеновского излучения. Это количественная характеристика этих излучений с энергией до 3 МэВ, основанная на их ионизирующем действии и выраженная как отношение суммарного заряда всех ионов одного знака dQ , возникающих при полном торможении электронов и позитронов, которые были образованы фотонами в элементарном объеме воздуха, к массе dm воздуха в этом объеме:

$$X = dQ / dm ; \quad (1)$$

представляет собой энергетическую характеристику излучения, оцениваемую по эффекту ионизации сухого атмосферного воздуха, и меру ионизационного действия фотонного излучения, определяемую по ионизации воздуха в условиях электронного равновесия.

Единицей измерения экспозиционной дозы в СИ является кулон на килограмм (Кл/кг). Широко распространена также внесистемная единица – рентген (p). Один рентген ($1p$) – это такая доза фотонного излучения, под действием которой в 1 см^3 сухого воздуха при нормальных условиях (0°C и 760 мм рт.ст.) образуются ионы, несущие одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака. Доза в $1p$ соответствует образованию $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов в 1 см^3 воздуха. $1p = 2,58 \cdot 10^{-4}\text{ Кл/кг}$. $1\text{ Кл/кг} = 3,876 \cdot 10^3 p$.

Соотношение между единицами экспозиционной дозы и поглощенной дозы составляют: для воздуха $1p = 0,88\text{ рад}$, для биологической ткани $1p = 0,96\text{ рад}$.

Мощность экспозиционной дозы \bar{X} – приращение экспозиционной дозы в единицу времени

$$\bar{X} = dx / dt. \quad (2)$$

Единицы измерения: в системе СИ (Кл/кг)/ч, А/кг; внесистемные – р/ч, р/с; мр/ч, мр/с, мкр/ч, мкр/с. $1p / c = 2,58 \cdot 10^{-4}\text{ А/кг}$.

3.2. Понятие плотности потока ионизирующих частиц

Степень загрязнения различных поверхностей радионуклидами оценивают обычно по плотности потока ионизирующих частиц, испускаемых исследуемой поверхностью.

Поток ионизирующих частиц F – отношение числа частиц dN , пересекающих некоторую поверхность за малый промежуток времени к его длительности dt :

$$F = dN / dt; \text{ c}^{-1}. \quad (3)$$

Плотность потока ионизирующих частиц φ – отношение потока ионизирующих частиц (фотонов) dF , проникающих в объем элементарной сферы, к площади центрального сечения dS этой сферы:

$$\varphi = dF / dS, \text{ част}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}). \quad (4)$$

Приборы, предназначенные для измерения потока или плотности потока ионизирующих частиц, называют **радиометрами**.

4. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРОВ, ПОДГОТОВКА ИХ К РАБОТЕ

4.1. Прибор РКС-104Б предназначен для измерения мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения, плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей, удельной активности цезия-137.

Пределы измеряемых величин: – мощности эквивалентной дозы гамма-излучения от 0,1 до 99,99 мкЗв/ч (мощности экспозиционной дозы гамма-излучения от 10 мкр/ч до 9,99 мр/ч); – плотности потока бета-излучений с поверхности от 0,1 до 100; $1/с \cdot см^2$ (от 6 до 6000 β -частиц в мин. на $см^2$). Диапазон энергии регистрируемых излучений: β -излучения от 0,5 до 3 МэВ; γ -излучения от 0,06 до 1,25 МэВ.

Пределы значений допускаемой погрешности измерений $\pm 25...40\%$. Время измерения не превышает 28 секунд, а непрерывной работы – 12 часов.

4.2. Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01 «Сосна» предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Измеряет мощность экспозиционной дозы гамма-излучения, плотность потока бета-излучения с загрязненных радионуклидами поверхностей, удельную активность радионуклидов в пробах веществ.

Диапазон измерений: мощности экспозиционной дозы от 0,010 до 9,999 мр/ч; плотности потока β -излучений от 10 до 5000 част./ $см^2 \cdot мин.$; удельной (объемной) активности растворов по цезию-137 от 10^{-6} до 10^{-8} Ки/л. Время измерения 20 ± 5 сек. Значение мощности эквивалентной дозы в мкЗв/ч определяют путем умножения показаний прибора в мр/ч на коэффициент «10».

В приборе предусмотрено два режима работы: «МД» – в приборе работает внутренний таймер, который через 20 ± 5 секунд прекращает счет импульсов; «Т» – в приборе внутренний таймер не работает, время счета импульсов контролируется по часам. Результаты измерений индицируются на цифровом табло. По окончании времени измерений и при включении прибора выдается звуковой сигнал. Основная относительная погрешность измерения мощности экспозиционной (полевой эквивалентной) дозы γ -излучения по цезию-137 не более $\pm 30\%$.

4.3. Подготовка приборов к работе

4.3.1. Снять крышки отсеков питания приборов, установить элементы питания типа «Корунд» (9 В), установить крышки на место.

4.3.2. В приборе РКС-104Б перед включением прибора снять заднюю крышку-фильтр и установить движки кодового переключателя S4.1-S4.6 в следующие положения: движки «БД» и «Т» – в положение «1», остальные движки – в положение «1». Установить на место крышку-фильтр. Установить органы управления прибора в положения: тумблер S2 – в положение «Раб»; тумблер S3 – в положение «Х1».

Прибор готов к работе.

4.3.3. В приборе АНРИ-01 «Сосна» выключатель питания перевести в положение «Вкл». На цифровом табло должно индицироваться: 0.000, если переключатель режима работ находится в положении «МД» и 0000, если в положении «Т». Включение прибора сопровождается коротким звуковым сигналом. Если издается непрерывный звуковой сигнал, то необходимо заменить элемент питания.

Убедиться в исправности электронной пересчетной схемы и таймера прибора, для чего переключатель режима работ перевести в положение «МД», нажать кнопку «КОНТР» и удерживать ее в нажатом состоянии до конца проверки. Затем кратковременно нажать кнопку «Пуск». На цифровом табло должен начаться отсчет чисел. Через 20 ± 5 секунд отсчет чисел должен прекратиться, сработает короткий звуковой сигнал, а на табло должно индицироваться число 1.024 или 0.512 в зависимости от количества счетчиков в приборе (2 или 4 соответственно). Отпустить кнопку «КОНТР». Прибор готов к работе.

5. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

5.1. Измерение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения

5.1.1. Подготовить приборы к работе согласно п.п. 4.3.

5.1.2. Проверить закрытие задних крышек приборов, при необходимости плотно закрыть.

Примечание: измерения проводить на высоте 0,7-1,0 м от поверхности, удерживая приборы счетчиками параллельно поверхности в месте проведения измерений.

5.1.3. При работе с приборами АНРИ-01 «Сосна»: перевести переключатель режима работы в положение «МД», включить прибор выключателем питания, нажать кратковременно кнопку «Пуск». На цифровом табло должны появиться точки после каждого разряда [0.0.0.0] и начнется счет им-

пульсов. Через 20 ± 5 секунд измерение закончится, сработает звуковой сигнал, а на цифровом табло зафиксируется число с одной запятой, например [0.012]. Это показание прибора будет соответствовать мощности экспозиционной дозы γ -излучения, измеренной в мр/ч. Значение мощности эквивалентной дозы в мкЗв/ч определяют умножением показаний в мр/ч на «10».

Для выполнения повторного замера достаточно, не выключая прибор, кратковременно нажать кнопку «Пуск».

Провести 5-6 замеров и вычислить среднее значение по формуле:

$$\bar{X}_{cp} = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i / n; \text{ мр/ч.} \quad (5)$$

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.

5.1.4. При работе с приборами РКС-104Б установить тумблеры: тумблер S3 – в положение «Раб», тумблер S2 – в положение «X1». Включить прибор тумблером S1, установив его в положение «1», прибор начинает регистрировать внешний фон γ -излучения. Через $27 \pm 0,5$ секунд измерение закончится, сработает прерывистый звуковой сигнал, а на счетных разрядах индикатора установится число, соответствующее мощности эквивалентной дозы γ -излучения, например [0015], мкЗв/ч. Через 12 секунд, не выключая прибор, измерение автоматически повторится.

Провести 3–5 замеров, выключить прибор. Вычислить среднее значение по формуле:

$$\bar{H}_{\gamma}^{cp} = 0,002 \sum_{i=1}^n H_{\gamma i}, \text{ мкЗв/ч.} \quad (6)$$

Результаты измерения и расчетов занести в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерения и выполненных расчетов

№№ измер.	Численное значение показаний		Среднее значение показаний	
	мр/ч, \bar{X}_i	мкЗв/ч, $\bar{H}_{\gamma i}$	мр/ч, \bar{X}_{cp}	мкЗв/ч, \bar{H}_{γ}^{cp}
1				
2				
3				
4				
5				

Примечание: произвести расчеты мр/ч в мкЗв/ч и наоборот, результаты занести в табл. 1.

5.2. Измерение плотности потока β -излучений с загрязненных радионуклидами поверхностей

5.2.1. Выполнить работы по п.п. 4.3 и 5.1.2.

Примечание: измерения проводить на высоте 0,5-1,0 см от загрязненной радионуклидами поверхности.

5.2.2. При работе с прибором АНРИ-01 «Сосна»:

– переведите переключатель режима работы в положение «МД», включите прибор;

– поднесите прибор плоскостью задней крышки к исследуемой поверхности на расстояние 0,5-1 см и кратковременно нажмите кнопку «Пуск». Выполните 3–5 измерений N_γ , имп. (с закрытой крышкой без учета запятой), результаты занесите в таблицу 2, колонка 3;

– откройте заднюю крышку прибора, проведите 3–5 измерений $N_{\gamma+\beta}$, имп. по приведенному выше описанию, результаты занесите в таблицу 2, колонка 5;

– рассчитайте средние значения N_γ^{cp} и $N_{\gamma+\beta}^{cp}$, имп., результаты занесите в таблицу 2, колонки 4 и 6;

– вычислите величину плотности потока бета-излучений с загрязненной радионуклидами поверхности по формуле:

$$\varphi = K_s (N_{\gamma+\beta}^{cp} - N_\gamma^{cp}), \text{ част./}(\text{см}^2 \cdot \text{мин}), \quad (7)$$

результаты занесите в таблицу 2, колонка 8.

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

5.2.3. При работе с прибором РКС-104Б:

– переведите тумблеры S2 и S3 в верхнее положение;

– поднесите прибор плоскостью крышки-фильтра на расстояние 0,5–1,0 см от исследуемой поверхности;

– включите прибор тумблером S1 (перевести в верхнее положение), снимите 3–5 показаний прибора N_γ , имп., занесите в таблицу 2;

– выключите прибор тумблером S1 (перевести в нижнее положение);

– снимите крышку-фильтр. Поместите прибор в той же геометрии над исследуемой поверхностью;

– включите прибор тумблером S1, снимите 3-5 показаний $N_{\gamma+\beta}$, имп., занесите в таблицу 2, выключите прибор тумблером S1;

– рассчитайте средние значения N_{γ}^{cp} и $N_{\gamma+\beta}^{cp}$, имп. Определите величину загрязненности поверхности бета-активными радионуклидами по формуле:

$$\varphi = K_1 (N_{\gamma+\beta}^{cp} - N_{\gamma}^{cp}), \text{ част}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин}), \quad (8)$$

результаты расчетов занесите в таблицу 2, колонка 8.

Таблица 2

Результаты измерений и выполненных расчетов

Исследуем. поверхн.	№ изм.	Показания прибора с закрытой крышкой		Показания прибора с открытой крышкой		$K_s, (K_1)$	Плотность потока φ , част/(см ² · мин)
		N_{γ} , имп.	N_{γ}^{cp} , имп.	$N_{\gamma+\beta}$, имп.	$N_{\gamma+\beta}^{cp}$, имп.		
1	2	3	4	5	6	7	8
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
и т.д.							

Коэффициент K_1 для прибора равен 0,4 част./(см² · мин · имп.).

5.2.4. По результатам замеров и расчетов сделайте выводы. Результаты измерений и расчетов β -излучений по п. 5.2 сравните с табл.3.

Таблица 3

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты, част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин.}$)

Объект загрязнения	α -активные нуклиды (*)		β -активные нуклиды
	отдельные (**)	прочие	
Неповрежденная кожа, спецбелье, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей СИЗ	2	2	200
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных СИЗ, наружная поверхность спецобуви	2	20	2000
Поверхность помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	5	20	2000
Поверхность помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	10 000
Наружная поверхность дополнительных СИЗ, снимаемой в саншлюзах	50	200	10 000

Примечание: (*) – нормируется снимаемое (нефиксированное) загрязнение в рабочих помещениях и на оборудовании; для остальных поверхностей суммарное (снимаемое и неснимаемое) загрязнение.

(**) – к отдельным относятся, если среднегодовая допустимая объемная активность ДОА < 0,3 Бк/м³.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и технические характеристики приборов АНРИ-01 «Сосна», РКС-104Б.
2. Понятие экспозиционной дозы и ее мощности.
3. Понятие плотности потока ионизирующих частиц.

7. ЛИТЕРАТУРА

- 7.1. М.Т.Максимов, Г.О.Оджагов. Радиоактивные загрязнения и их измерения. -М.:ЭАИ, 1989 - 304 с.
- 7.2. Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01 «Сосна»: Руководство по эксплуатации РБ-1.00.000 РЭ.
- 7.3. Прибор РКС-104Б. Паспорт 412152.001 ПС.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ (ОБЪЕМНОЙ) АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В ВЕЩЕСТВАХ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- закрепить теоретические знания бытовых дозиметрических приборов;
- оценить удельную (объемную) активность радионуклидов в веществах.

2. УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- дозиметрические приборы типа АНРИ-01 «Сосна»– 3–4 шт.;
- дозиметрические приборы типа РКС-104Б– 3–4 шт.;
- кюветы к дозиметрическим приборам– 3–4 шт.;
- образцы исследуемых веществ– 3–4 шт.;
- колба стеклянная с питьевой водой – 1 шт.

3. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Активность – это физическая величина, характеризующая число радиоактивных распадов в единицу времени:

$$A = dN / dt . \quad (1)$$

Единицей активности в системе СИ принят **Беккерель** (Бк).
1 Бк = 1 распад/с.

Существует и внесистемная единица **Кюри** (Ки), которая изымается из употребления согласно ГОСТ 8.417-81 и РД 50-454-84. Однако на практике и в литературе она используется. За **1 Ки** принята активность 1г радия. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$; $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$.

Радиоактивные вещества могут находиться в различном агрегатном состоянии: аэрозольном, взвешенном состоянии в жидкости или в воздухе. Поэтому в дозиметрической практике часто используют величину *удельной, поверхностной* или *объемной* активности или концентрации радиоактивных веществ в воздухе, жидкости и в почве.

Удельную, объемную и поверхностную активность можно записать соответственно в виде:

$$A_m = A / m; A_v = A / v; A_s = A / s, \quad (2)$$

где: m – масса вещества; v – объем вещества; s – площадь поверхности вещества.

Очевидно, что:

$$A_m = A / m = A / s\rho h = A_s / \rho h = A_v / \rho, \quad (3)$$

где: ρ – плотность почвы, принимается равной 1000 кг/м³; h – корнеобитаемый слой почвы, принимается равным 0,2м; s – площадь радиоактивного заражения, м². Тогда:

$$A_m = 5 \cdot 10^{-3} A_s; A_m = 10^{-3} A_v. \quad (4)$$

Удельная активность может быть выражена в Бк/кг или Ки/кг; *поверхностная* - в Бк/м², Ки/ м², Ки/км²; *объемная* - в Бк/м³ и Ки/м³ или Бк/л и Ки/л.

На практике могут быть использованы как укрупненные, так и дробные единицы измерения. Например: Ки/ км², Ки/м², Бк/г и др.

Для того чтобы максимально ограничить поступление радионуклидов в организм человека с продуктами питания, в Беларуси введены Республиканские допустимые уровни. В настоящее время действуют Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде, утвержденные в 2001 году (РДУ-2001) (таблица 1).

Таблица 1

**РЕСПУБЛИКАНСКИЕ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ
содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90
в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-2001)**

Наименование продукции	Ки/кг, Ки/л	Бк/кг, Бк/л
Для цезия-137:		
Вода питьевая	$2,7 \cdot 10^{-10}$	10
Молоко и цельномолочная продукция	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Молоко сгущенное и концентрированное	$5,4 \cdot 10^{-9}$	200
Творог и творожные изделия, сыры сычужные и плавленые	$1,4 \cdot 10^{-9}$	50

Окончание табл. 1

Наименование продукции	Ки/кг, Ки/л	Бк/кг, Бк/л
Масло коровье	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Мясо и мясные продукты, в том числе: говядина, баранина и продукты из них	$1,4 \cdot 10^{-8}$	500
Свинина, птица и продукты из них	$4,9 \cdot 10^{-9}$	180
Картофель	$2,2 \cdot 10^{-9}$	80
Хлеб и хлебобулочные изделия	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Мука, крупы. Сахар	$1,6 \cdot 10^{-8}$	60
Жиры растительные	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Жиры животные, маргарин, овощи и корнеплоды	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Фрукты	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Садовые ягоды	$1,9 \cdot 10^{-9}$	70
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	$2,0 \cdot 10^{-9}$	74
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	$5 \cdot 10^{-9}$	185
Грибы свежие	$1,0 \cdot 10^{-8}$	370
Грибы сушеные	$6,8 \cdot 10^{-7}$	2500
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления	$1,0 \cdot 10^{-9}$	37
Прочие продукты питания	$1,0 \cdot 10^{-8}$	370
Для стронция-90:		
Вода питьевая	$1,0 \cdot 10^{-11}$	0,37
Молоко и цельномолочная продукция	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Картофель	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	$5,0 \cdot 10^{-11}$	1,85

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Измерение удельной (объемной) активности радионуклидов в веществах с помощью прибора АНРИ-01 «Сосна».

(Описание технических характеристик и принципа работы прибора АНРИ-01 «Сосна» приведены в п.4.2 лабораторной работы № 4)

В режиме оценки удельной (объемной) активности радионуклидов в веществах необходимо проведение двух видов измерений. Оба измерения проводятся с открытой задней крышкой, а прибор устанавливается на кювету. Первое измерение проводится с кюветой, заполненной чистой питьевой водой, второе – с кюветой, заполненной исследуемым веществом. Время измерения контролируется по секундомеру или часам. Удельная активность вычисляется по формуле 4.

Оценку удельной (объемной) активности проб желательно проводить в местах с малыми уровнями фоновых значений гамма-излучения, менее 0,020 мР/ч.

4.1.1. Подготовьте прибор к работе согласно п. 4.3 лабораторной работы № 4.

4.1.2. Возьмите чисто вымытую, сухую кювету из комплекта прибора и заполните ее до отметки «уровень» чистой питьевой водой.

4.1.3. Откройте заднюю крышку прибора и установите его на кювету. Установите переключатель режима работы в положение «Т», включите прибор.

4.1.4. Подготовьте часы или секундомер для фиксации времени измерения.

4.1.5. Зафиксируйте время начала замера и нажмите кнопку «Пуск». Через $t_1 = 10$ мин ± 5 с нажмите кнопку «Стоп». Запишите показания прибора (N_ϕ) в таблицу 2.

4.1.6. Заполните кювету исследуемым веществом по отметку «уровень». Твердые вещества необходимо измельчить и укладывать в кювету плотным, ровным слоем.

4.1.7. Установите прибор на кювету и выполните измерение исследуемого вещества аналогично п. 4.1.3 и – 4.1.5. Запишите показания прибора ($N_{\phi+п}$) в таблицу 2.

4.1.8. Выключите прибор, снимите его с кюветы и закройте заднюю крышку.

4.1.9. Рассчитайте величины удельной активности радионуклидов по формуле:

$$A_m = K_{\Pi} \left(\frac{N_{\phi+\Pi}}{t_2} - \frac{N_{\phi}}{t_1} \right), \text{ Ки/кг}; \quad (5)$$

где N_{ϕ} – показание прибора при замера с кюветой, заполненной водой, импульс; $N_{\phi+\Pi}$ – показание прибора при замера с исследуемым веществом, импульс; t_1 – время замера с кюветой, заполненной водой, мин.; t_2 – время замера с исследуемым веществом, мин.; K_{Π} – коэффициент прибора.

Величина коэффициента K_{Π} зависит от характеристик измеряемого вещества. Ориентировочно величина коэффициента K_{Π} для проб, содержащих изотопы ^{137}Cs , составляет $4 \cdot 10^{-9}$ Ки · мин/кг · импульс.

Результаты расчетов занесите в таблицу 2. Сравните полученные значения с нормами согласно РДУ-2001 (таблица 1).

Таблица 2

Определение величины удельной (объемной) активности A_m радионуклидов с помощью прибора АНРИ-01 «Сосна»

№ п/п	Название исследуемой пробы	Показание прибора при замера кюветы с водой N_{ϕ} , имп.	Показание прибора при замера с исслед. веществом $N_{\phi+\Pi}$, имп.	Время замера с водой t_1 , мин.	Время замера исслед. в-ва t_2 , мин.	Коэффициент прибора K_{Π}	Удельная активность A_m , Ки/кг	Удельная активность A_m , Бк/кг	Значение согласно РДУ – 2001, Бк/кг
1									
2									
3									
4									
5									

4.2. Измерение удельной (объемной) активности радионуклидов в веществах с помощью прибора РКС -104Б (Описание технических характеристик и принципа работы прибора РКС-104Б приведены в п. 4.1 лабораторной работы № 4.)

В режиме оценки удельной (объемной) активности радионуклидов в веществах необходимо проведение двух видов измерений. Оба измерения проводятся с открытой крышкой-фильтром, а прибор устанавливается на кювету. Первое измерение проводится с кюветой, заполненной чистой водой, второе – с исследуемым веществом. Удельная активность вычисляется по формуле 8.

Измерения целесообразно производить в условиях минимального радиационного фона.

4.2.1. Подготовьте прибор к работе согласно п. 4.3.2 лабораторной работы № 4.

4.2.2. Снимите крышку-фильтр. Поместите прибор на кювету, заполненную дистиллированной или заведомо чистой (в радиационном отношении) водой до метки.

Тумблер S3 переведите в нижнее положение, а S2 – в положение «РАБ». Включите прибор тумблером S1, переводя его в верхнее положение.

Снимите 5 показаний прибора. Выключите прибор тумблером S1, переводя его в нижнее положение.

Рассчитайте среднее значение отдельных наблюдений по формуле:

$$A_{\phi} = 0,2 \sum_{i=1}^5 A_{\phi i}, \quad (6)$$

где $A_{\phi i}$ – значения отдельных показаний прибора.

Результаты измерений занесите в таблицу 3.

Вылейте воду из кюветы и просушите ее.

4.2.3. Заполните кювету исследуемым веществом до метки. Установите прибор на кювету. Положение тумблеров S2 и S1-согласно п.4.2.2. Включите прибор тумблером S1, переводя его в верхнее положение. Снимите 5 показаний прибора. Выключите прибор тумблером S1, переводя его в нижнее положение.

Рассчитайте среднее значение отдельных измерений по формуле:

$$A_{\phi+n} = 0,2 \sum_{i=1}^5 A_i, \quad (7)$$

где A_i – значения отдельных показаний прибора.

Результаты занесите в таблицу 3.

4.2.4. Рассчитайте удельную (объемную) активность вещества по радионуклиду цезий-137 согласно формуле:

$$A_m = K_2 (A_{\phi+n} - A_{\phi}), \text{ Бк/кг}, \quad (8)$$

где $K_2=0,6$.

Результаты расчетов занесите в таблицу 3. Сравните полученные значения с нормами согласно РДУ-2001.

4.2.5. Проведите действия, описанные в п.п. 4.2.2 – 4.2.4 для другого вещества.

Таблица 3

Определение величины удельной (объемной) активности радионуклидов A_m с помощью прибора РКС -104Б

Название исследуемой пробы	№ п/п	Отдельн. измер. фона $A_{\phi i}$, Бк/кг	Среднее знач. фона A_{ϕ} , Бк/кг	Отдельн. измер. в-ва A_i , Бк/кг	Среднее знач. в-ва $A_{\phi+n}$, Бк/кг	K_2	Удельная активность A_m , Бк/кг	Значение согласно РДУ-2001, Бк/кг
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Понятие активности радионуклидов, единицы измерения.
- 5.2. Удельная, объемная и поверхностная активности, единицы измерения.
- 5.3. Оценка удельной (объемной) активности с помощью прибора АНРИ-01 «Сосна».
- 5.4. Оценка удельной (объемной) активности с помощью прибора РКС-104Б.

6. ЛИТЕРАТУРА

- 6.1. Максимов М.Т., Оджагов Г.О.. Радиоактивные загрязнения и их измерение. – М.: Энергоатомиздат, 1989 – 304 с.
- 6.2. С.В.Дорожко, В.П.Бубнов, В.Т. Пустовит. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность. Часть 3. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. 209 с.
- 6.3. Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01 «Сосна».: Руководство по эксплуатации РБ-1.00.000 РЭ.
- 6.4. Прибор комбинированный РКС-104Б.: Паспорт 412152.001 ПС.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗМЕРЕНИЕ И ОЦЕНКА МОЩНОСТИ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ, ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомление с методами определения экспозиционной, поглощенной и эквивалентной доз излучения, приобретение навыков работы с дозиметрическими приборами различного типа.

2. УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- измеритель мощности дозы ДП-5Б(В)– 1 к-т;
- радиометр-дозиметр АНРИ-01 «Сосна»– 1 к-т;
- сцинтилляционный прибор СРП-68-01– 1 к-т;
- контрольный источник цезий-137– 1 шт.;
- контрольный источник кобальт-60– 1 шт.;
- источник питания стабилизированный– 2 шт.;
- штативы– 2 шт.

3. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

3.1. Биологическое действие ионизирующих излучений

В основе биологического действия ионизирующих излучений (ИИ) лежит их способность ионизировать атомы и молекулы вещества. В результате воздействия ИИ на организм человека в тканях происходят сложные физические, химические и биологические процессы. Изменения в организме происходят как при внешнем, так и при внутреннем облучениях.

Весь процесс воздействия можно разделить на следующие этапы:

- поглощение ИИ;
- появление ионизированных и электронно-возбужденных молекул;
- развитие биохимических повреждений;
- формирование субмикроскопических повреждений;
- проявление видимых повреждений клеток;
- гибель клетки.

Биологический эффект ИИ зависит от вида излучения, суммарной поглощенной дозы, размеров облучаемой поверхности, индиви-

дуальных особенностей организма и продолжительности времени воздействия излучения.

Степень чувствительности различных органов человека к облучению неодинакова. Большей чувствительностью обладают все кроветворные органы. При ежедневном воздействии поглощенной дозы $D_{T,R} = 0,002 - 0,005$ Гр уже наступают изменения в крови.

Одним из физических способов защиты от ИИ является защита расстоянием. Интенсивность гамма-излучения при удалении от точечного источника уменьшается по закону $1/R^2$ (R – расстояние от источника). Защита расстоянием определяется зависимостью:

$$\bar{X} = \frac{K_{\gamma} \cdot A}{R^2}, \text{ р/ч} \quad (1)$$

где \bar{X} – мощность экспозиционной дозы γ -излучения; K_{γ} – гамма-постоянная $\text{р} \cdot \text{см}^2 / (\text{м}(\text{м} \cdot \text{ч}))$; A – активность радионуклида, мКи.

3.2. Экспозиционная доза

Понятие экспозиционной дозы и ее мощности (описано в лабораторной работе № 4).

3.3. Поглощенная доза

Поглощенная доза D – отношение средней энергии ионизирующего излучения dE , поглощенной элементарным объемом облучаемого вещества к массе dm этого вещества:

$$D = dE / dm. \quad (2)$$

В единицах СИ поглощенная доза измеряется в Грехах (Гр). Грей – поглощенная доза излучения, при которой в 1 кг облучаемого вещества поглощается энергия в 1 Дж. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. Внесистемная единица поглощенной дозы - рад; $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$. Мощность поглощенной дозы \bar{D} – отношение приращения поглощенной дозы dD за малый промежуток времени к его длительности dt ;

$$D = dD / dt. \quad (3)$$

В системе СИ единицей мощности поглощенной дозы является Гр/с, Гр/ч; внесистемные единицы: рад/с, рад/ч, мрад/с, мрад/ч, мкрад/с, мкрад/ч.

Поглощенная доза D фотонного излучения в веществе с известным химическим составом может быть рассчитана по его экспозиционной дозе X :

$$D = K_D X. \quad (4)$$

Поглощенная доза в биологической ткани

$$D_{T,R} = K_D X, \quad (5)$$

где K_D – энергетический эквивалент экспозиционной дозы. Его величина зависит от выбора системы единиц и природы облучаемого вещества.

При вычислении по формуле (5) поглощенной дозы D , рад, в воздухе из известной экспозиционной дозы X , рентген, энергетический эквивалент $K_D = 0,88$ рад/р; в системе $K_D = 34,1$ Гр/(кл/кг).

Для биологической ткани при вычислении во внесистемных единицах ($D_{T,R}$ рад; X, P) среднее значение $K_D = 0,96$ рад/р; в единицах СИ (D, P ; X Кл/кг). $K_D = 37,2$ Гр/(кл/кг).

3.4. Эквивалентная доза

Эквивалентная доза $H_{T,R}$ является количественной мерой опасности ионизирующих излучений для живых организмов. Различные виды излучения неодинаково воздействуют на живой организм.

Эквивалентная доза $H_{T,R}$ – поглощенная доза в организме или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения W_R :

$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot W_R, \quad (6)$$

где $D_{T,R}$ – средняя поглощенная доза в организме или ткани; W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R – учитывает относительную эффективность различных видов излучения в индентификации различных биологических эффектов.

Таблица 1

Значения взвешивающих коэффициентов излучения W_R

№ п/п	Вид излучения	W_R
1	Фотоны любых энергий	1
2	Электроны любых энергий, β -излучение	1
3	$E < 10$ кэВ	5
	$E = 10 \div 100$ кэВ	10
	Нейтроны $E = 100$ кэВ \div 2 МэВ	20
	$E = 2 \div 20$ МэВ	10
	$E > 20$ МэВ	5
4	Протоны с энергией > 2 МэВ	5
5	α -частицы, осколки деления	20

При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения

$$H_T = \sum_R H_{T,R}. \quad (7)$$

Единица измерения эквивалентной дозы в системе СИ – Зиверт (Зв), внесистемная – бэр. Один зиверт равен одному грею деленному на взвешивающий коэффициент. Для любого излучения

$$1\text{Зв} = \frac{1\text{Гр}}{W_R} = \frac{1\text{Дж/кг}}{W_R} = \frac{100\text{рад}}{W_R} = 100\text{бэр},$$

$$\text{отсюда } 1\text{бэр} = \frac{1\text{рад}}{W_R}.$$

Мощность эквивалентной дозы излучения $\overline{H}_{T,R}$ – отношение приращения эквивалентной дозы $dH_{T,R}$ за малый промежуток времени к его длительности dt :

$$\overline{H}_{T,R} = \frac{dH_{T,R}}{dt}. \quad (8)$$

Единицей измерения мощности эквивалентной дозы в системе СИ – Зв/с, Зв/ч; внесистемные единицы: бэр/ч, бэр/с, мбэр/с, бэр/сут. и др.

4. ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

4.1. Назначение и технические характеристики прибора АНРИ-01 «Сосна» (см. п. 4.2. лабораторной работы № 4).

4.2. Назначение прибора ДП-5Б(В) и краткие технические характеристики

Измеритель мощности дозы ДП-5Б(В) предназначен для:

- измерения уровней радиации на местности по гамма-излучению;
- определения степени радиоактивного заражения различных поверхностей;
- обнаружения бета-излучения с загрязненных бета-излучающими радионуклидами поверхностей.

Прибор имеет шесть поддиапазонов (таблица 2) и звуковую индикацию на всех поддиапазонах, кроме первого.

Отсчет показаний на первом поддиапазоне производится по нижней шкале микроамперметра прибора, а на 2-м ÷ 6-м поддиапазонах – по верхней шкале с последующим умножением на соответствующий коэффициент поддиапазона. Время установления показаний не более 45 секунд.

Таблица 2

Поддиапазон	Полож. ручки переключателя поддиапаз.	Шкала	Единица измерен.	Пределы измерен.
1	200	0 – 200	р/ч	5 – 200
2	×1000	0 – 5	мр/ч	500 – 5000
3	×100	0 – 5	мр/ч	50 – 500
4	×10	0 – 5	мр/ч	5 – 50
5	×1	0 – 5	мр/ч	0,5 – 5
6	×0,1	0 – 5	мр/ч	0,05 – 0,5

Для детектирования излучений в приборе использованы счетчики Гейгера-Мюллера типа СИ-ЗБГ, СБМ-20.

Питание прибора осуществляется от трех элементов типа КБ-1 или от внешнего источника постоянного тока напряжением 3, 6, 12 вольт – для ДП-5Б и 12 или 24 вольт - для ДП-5В через делитель напряжения с кабелем длиной 10 м.

4.3. Назначение и технические характеристики прибора СРП-68-01

Прибор сцинтилляционный геологоразведочный СРП-68-01 предназначен для поиска радиоактивных руд по их гамма-излучению и для радиометрической съемки местности. Прибор позволяет проводить измерение потока γ -излучения в пределах от 0 до 10000 с^{-1} и мощности экспозиционной дозы в пределах от 0 до 3000 мкр/ч. Время установления рабочего режима с момента включения прибора не превышает 1 мин. Время непрерывной работы - 8 ч. Средняя наработка на отказ 5000 ч. Питание прибора осуществляется от девяти элементов типа А-343. Работоспособность прибора сохраняется в пределах температур окружающего воздуха от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

Прибор состоит из измерительного пульта РПГ4-01 и блока детектирования БДГ4-01, соединенных между собой кабелем.

Блок детектирования выполнен в виде металлического цилиндра, внутри которого расположены шасси с элементами электрической схемы. В передней его части расположены сцинтиллятор-кристалл NaI(Tl) и фотоэлектронный умножитель ФЭУ-85.

При попадании ионизирующего излучения (ИИ) на сцинтиллятор происходит возбуждение его атомов и молекул за счет поглощения энергии частиц ИИ и испускание с его поверхности квантов видимого света – фотонов. Энергия фотонов через посредство фотоэффекта в фотоэлектронном умножителе преобразуются в электрические сигналы. Затем с помощью электрических схем и устройств, расположенных в блоке детектирования и измерительном приборе эти сигналы усиливаются, отделяются от шумов, преобразуются в последовательность логических сигналов, средняя частота повторений которых пропорциональна измеряемой физической величине. Эта последовательность сигналов поступает на интегрирующий линейный измеритель скорости счета, показания которого выводятся на стрелочный прибор измерительного пульта.

Измерительный пульт РПГ4-01 выполнен в разъемном прямоугольном корпусе из алюминиевого сплава. В нижней части расположен отсек питания. На панели корпуса закреплены: измерительный стрелочный прибор, органы управления, платы с электрическими схемами для преобразования сигналов, поступающих с блока детектирования, переменные резисторы подстройки градуировки.

Шкала стрелочного прибора отградуирована в единицах потока гамма-излучения и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения.

Диапазон измерений мощности экспозиционной дозы гамма-излучения разбит на следующие поддиапазоны, мкр/ч:

от 0 до 30; от 0 до 100; от 0 до 300; от 0 до 1000; от 0 до 3000.

5. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Задание 1. Определение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения с помощью дозиметра АНРИ-01 «Сосна».

1.1. Закрепить контрольный источник (цезий-137 или кобальт-60) на штативе плоскостью излучения вверх.

1.2. Включите прибор и проверьте его работоспособность по методике, приведенной в п. 4.3 лабораторной работы № 4.

1.3. Измерьте в четырех контрольных точках (3, 5, 7, 10 см) мощность экспозиционной дозы (\bar{X}) гамма-излучения источников.

Для проведения измерений переключатель режима работ установить в положении «МД». Держатель штатива установить на расстоянии 3 см от контрольного источника, уложить на него измерительный прибор, нажать кнопку «Пуск». Выполните измерения и запишите показания прибора ($\bar{X}_{\gamma+\phi}$). Повторите 3–5 раз измерения в этой точке, запишите показания. Рассчитайте среднее значение ($\bar{X}_{\gamma+\phi}^{cp}$).

$$\bar{X}_{\gamma+\phi}^{cp} = \sum_{i=1}^n \bar{X}_{(\gamma+\phi)_i} \quad (9)$$

Аналогично проведите измерения в последующих контрольных точках, результаты всех измерений и расчетов занесите в табл.3.

1.4. Удалить дозиметр на расстояние 0,5 – 1,0 м от контрольного источника и 3–5 раз измерьте мощность экспозиционной дозы (\bar{X}_{ϕ}) фонового гамма-излучения и рассчитайте ее среднее значение

$$\bar{X}_{\gamma+\phi}^{cp} = \sum_{i=1}^n \bar{X}_{\phi i / n} \quad (10)$$

занесите в таблицу 3.

1.5 Рассчитайте значения мощностей экспозиционной дозы гамма-излучения в каждой из контрольных точек по формулам:

$$\bar{X}_\gamma^1 = \bar{X}_{\gamma+\phi}^{1cp} - \bar{X}_\phi^{cp}, \text{ мкр/ч}$$

$$\bar{X}_\gamma^2 = \bar{X}_{\gamma+\phi}^{2cp} - \bar{X}_\phi^{cp}, \text{ мкр/ч} \quad (11).$$

$$\bar{X}_\gamma^3 = \bar{X}_{\gamma+\phi}^{3cp} - \bar{X}_\phi^{cp}, \text{ мкр/ч}$$

$$\bar{X}_\gamma^4 = \bar{X}_{\gamma+\phi}^{4cp} - \bar{X}_\phi^{cp}, \text{ мкр/ч}$$

Таблица 3

**Результаты измерений прибором АНРИ-01 «Сосна»
и выполненных вычислений**

№ из-мер.	Ис-точ-ник	\bar{X}_ϕ мкр/ ч	\bar{X}_ϕ^{cp} , мкр/ ч	Значения измеряемых параметров в зависимо- сти от расстояния до источника, мкр/ч									
				$d_1 = 3 \text{ см}$		$d_2 = 5 \text{ см}$		$d_3 = 7 \text{ см}$		$d_4 = 10 \text{ см}$			
				$\bar{X}_{\gamma+\phi}^1$	$\bar{X}_{\gamma+\phi}^{1cp}$	$\bar{X}_{\gamma+\phi}^2$	$\bar{X}_{\gamma+\phi}^{2cp}$	$\bar{X}_{\gamma+\phi}^3$	$\bar{X}_{\gamma+\phi}^{3cp}$	$\bar{X}_{\gamma+\phi}^4$	$\bar{X}_{\gamma+\phi}^{4cp}$		

1.6. По формуле $X_i = \bar{X}_{i\gamma} \cdot t$ (12)

и формулам 4, 5, 6 рассчитайте:

- а) значение экспозиционной дозы в зависимости от мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, пункт 1.5, через 1 час;
- б) поглощенную дозу в воздухе и в биологической ткани;
- в) эквивалентную дозу.

Результаты расчетов занесите в таблицу 4.

Таблица 4

Значение поглощенной (D) и эквивалентной ($H_{T,R}$) доз по вычисленной экспозиционной дозе (X) гамма-излучения

Значения экспозиционной дозы X (мкp) в контрольных точках в течение 1 часа				Значения поглощенной дозы D (мкpад) в контрольной точке 1 для:		Значения эквивалентной дозы $H_{T,R}$, (мкбэр) для:
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	воздуха	биолог. ткани	биолог. ткани

1.7. Постройте график зависимости $X_\gamma = f(d)$, покажите эффективность защиты населения расстоянием от ионизирующих излучений.

Задание 2. Определение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения дозиметром ДП-5Б(В).

2.1. Ознакомьтесь с комплектностью прибора, назначением элементов комплекта в соответствии с техническим описанием.

2.2. Установите источники питания прибора.

2.3. Включите прибор, поставив ручку переключателей поддиапазонов в положение «Реж» в ДП-5Б или «Δ» в ДП-5В. В приборе ДП-5В стрелка микроамперметра автоматически установится в режимном секторе, в приборе ДП-5Б – установить с помощью ручки потенциометра «Реж».

2.4. Проверьте работоспособность прибора на всех поддиапазонах, кроме первого, от контрольного источника прибора установите экран зонда ДП-5Б в положение «Б», экран блока детектирования ДП-5В в положение «К».

В приборе ДП-5Б открыть контрольный источник, установить зонд опорными выступами над контрольным источником (в приборе ДП-5В – контрольный источник на блоке детектирования). Подключить к приборам телефоны. Последовательно переводя переключатель поддиапазонов наблюдать за показаниями прибора и прослушать щелчки в телефонах. На 5-м и 6-м поддиапазонах стрелка микроамперметра должна зашкаливать. После проверки закрыть контрольный источник в ДП-5Б, поворотные экраны зонда и блока детектирования

установить в положение «Г». Подсоедините штангу к зонду (блоку детектирования).

2.5. Поднесите зонд (блок детектирования) упорами вперед к контрольному источнику в контейнере на расстояние 3 см. Измерьте суммарную мощность экспозиционной дозы гамма-излучения и фона ($\bar{X}_{\gamma+\phi}$) в мр/ч. Переключатель поддиапазонов устанавливайте в соответствующее положение для получения четких показаний в пределах рабочей шкалы микроамперметра. Повторите 3 – 5 измерений в этой точке, запишите показания.

Аналогично проведите измерения в последующих контрольных точках ($d_2 = 5$ см; $d_3 = 7$ см; $d_4 = 10$ см). Запишите показания, вычислите среднее значение ($\bar{X}_{\gamma+\phi}^{cp}$) в каждой точке.

2.6. Удалите зонд (блок детектирования) на расстояние 0,5 – 1,0 м от контрольного источника и 3 – 5 раз измерьте мощность экспозиционной дозы фонового гамма-излучения (\bar{X}_{ϕ}), рассчитайте ее сред-

нее значение $\bar{X}_{\phi}^{cp} = \sum_{i=1}^n \bar{X}_{\phi i} / n$. (13)

2.7. Составьте таблицы по форме таблиц 3 и 4, результаты всех измерений и расчетов занесите в таблицы.

2.8. Выполните работы в соответствии с п.п. 1.6. – 1.7.

Задание 3. Определение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения сцинтилляционным прибором СРП-68-01.

3.1. Ознакомьтесь с назначением и функциональным назначением органов управления прибора.

3.2. Установите элементы питания типа А 343 в отсек питания в соответствии с указанной на приборе схемой. Включите прибор, переводя переключатель режима работы в положение «Бат». По показанию стрелочного прибора определяют напряжение батареи питания, которое должно быть в пределах от 6,5 до 15 вольт. Если напряжение батареи менее 6,5 вольт, сменить элементы питания.

3.3. Проверьте работоспособность прибора от контрольного источника, для чего переключатель режима работ установите в положение «Контр», снимите крышку контрольного источника. Поднесите блок детектирования меткой в сторону контрольного источника. С помощью переключателя поддиапазонов установите необходимый для измерения поддиапазон. С интервалом 5 - 10 секунд снимите 3 – 5 мгновенных отсчетов с учетом фона и вычислите среднее значение

($\bar{X}_{\gamma+\phi}^{cp}$). Закройте крышкой контрольный источник и проведите 3 – 5 измерений фонового гамма-излучения на удалении 0,5 – 1,0 м от места проведения измерений. Вычислите среднее значение. Показания прибора от контрольного источника за вычетом уровня фона должны соответствовать показанию, указанному в паспорте на прибор, при этом допустимое отклонение показаний не должно превышать $\pm 10\%$.

3.4. Переведите переключатель поддиапазонов в положение «2,5» или «5». С интервалом 5 - 10 секунд снимите 3 – 5 мгновенных отчетов на расстояниях 3, 5, 7, 10 см от контрольного источника. Составьте таблицы по форме таблиц 3 и 4; результаты всех измерений и расчетов занесите в таблицы.

3.5. Выполните работы в соответствии с п.п. 1.5. – 1.7.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Понятие поглощенной и эквивалентной доз излучения, единицы их измерения.

6.2. Что понимается под мощностью доз излучения, единицы их измерения?

6.3. Назначение и принцип действия прибора СРП-68-01, ДП-5Б(В)

6.4. Физические способы защиты от ИИ.

7. ЛИТЕРАТУРА

7.1. Постник М.И. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. – Мн.; ВШ, 2003, – 398 с.

7.2. Савастенко В.А. Практикум по ядерной физике и радиационной безопасности. Мн.; Дизайн ПРО, 1998. – 192 с.

7.3. Нормы радиационной безопасности НРБ – 2000. Нац. реестр правовых актов № 35, Мн.: 2000. – 59 с.

7.4. Максимов М.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерение, учебное пособие. - 2-е изд., перераб., и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 304 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИЗМЕРЕНИЕ И ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- получение практических навыков в измерении мощности экспозиционной дозы приборами СРП-68-01, ДБГ-06Т;
- изучение механизмов взаимодействия гамма-излучения с веществом;
- определение линейного и массового коэффициентов поглощения гамма-излучения в бетоне, алюминии, железе;
- изучение эффективности защиты экранированием.

2. УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- радиометр СРП-68-01 – 1 комплект;
- дозиметр ДБГ-06Т – 1 комплект;
- плакаты;
- поглощающие вещества: бетон (кирпич), алюминий, железо, свинец;
- источник гамма-излучения $Cs-137$ (энергия $E_4 = 0,661$ МэВ) – 1 шт.;
- источник гамма-излучения $Co-60$ (энергия $E_k = 1,25$ МэВ) – 1 шт.;
- источник питания стабилизированный – 1 шт.;
- штатив – 1 шт.

3. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Гамма-излучение – жесткое электромагнитное излучение ядерной природы с длинами волн в диапазоне от 10^{-10} до 10^{-14} м. Гамма-излучение возникает в результате радиоактивного распада атомов, ядерных реакций, аннигиляции элементарных частиц, торможении быстрых заряженных частиц в электрическом поле и других процессов. Энергия гамма-излучения, испускаемого различными источниками имеет значение от нескольких десятков до сотен МэВ ($1 \text{ эВ} =$

$1,6 \cdot 10^{-16}$ Дж). Обычно при радиоактивном распаде, ядерных реакциях, аннигиляции частиц гамма-излучение находится в диапазоне энергий 50-5000 МэВ.

При прохождении через вещество гамма-излучение взаимодействует с его атомами, проявляя при этом волновые и корпускулярные свойства.

Взаимодействие гамма-излучения с веществом определяется, в основном, тремя процессами: фотоэффектом, комптоновским эффектом, образованием электронно-позитронных пар в кулоновском поле ядра.

При фотоэффекте гамма-квант выбивает электрон из ближайших к ядру оболочек. При этом он полностью теряет свою энергию, которая расходуется на преодоление энергии связи «ядро-электрон» и на кинетическую энергию электронов. При замещении вакансий атома электронами верхних оболочек выделяется характеристическое рентгеновское излучение. Этот эффект преобладает при энергии 1-500 кэВ и уменьшается с увеличением энергии.

При комптоновском эффекте происходит рассеяние гамма-кванта на электронах внешних оболочек атомов; при таком взаимодействии теряется часть энергии гамма-кванта и изменяется направление его движения. Потерянная энергия уходит на возбуждение атома, а гамма-квант, изменив направление, может продолжить взаимодействие с другими атомами или удалиться из среды. Комптоновское рассеяние происходит при энергии 0,5-1,5 МэВ

При энергии гамма-излучения больше 1,022 МэВ при движении в кулоновском поле ядра из гамма-кванта может образоваться электронно-позитронная пара (e^+ и e^-), разлетающаяся под углом 180° (процесс обратной аннигиляции). При этом энергия гамма-кванта полностью поглощается атомом и расходуется на образование пары и на ее кинетическую энергию.

В результате взаимодействия гамма-излучения с веществом происходит ослабление его интенсивности по экспоненциальному закону:

$$I = I_0 e^{-\mu d}, \quad (1)$$

где I – интенсивность гамма-излучения после прохождения слоя вещества толщиной d ; I_0 – начальная интенсивность гамма-излучения до прохождения вещества; μ – линейный коэффициент ослабления, $см^{-1}$.

Закон ослабления применим к таким параметрам поля излучения, как интенсивность, поток, флюенс и, в качестве преобразованной измерительным прибором величины – мощности экспозиционной дозы.

Линейный коэффициент ослабления μ является интегральной характеристикой сечения всех видов взаимодействия и является функцией $\mu(E_0, \rho, z)$. На практике используются (в качестве табулированных значений) другие виды коэффициентов поглощения, например, μ_m – массовый коэффициент поглощения, который рассчитывается как:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}, \frac{\text{см}^2}{\text{г}}, \quad (2)$$

где ρ – плотность поглощающего вещества, г/см³.

Одной из основных количественных характеристик поглощающих свойств вещества, часто используемой в решении задач по защите от гамма-излучения, является слой половинного ослабления – это такая толщина вещества, после прохождения которой интенсивность излучения уменьшается в два раза

$$d_{\Delta} = \frac{\ln(I_0 / I)}{\mu} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}. \quad (3)$$

Закон ослабления излучения в выражении (1) экспериментально подтверждается в конфигурации «источник–защита–детектор», называемой геометрией узкого пучка или «хорошей» геометрией. Схема экспериментальной установки геометрии узкого пучка приведена на рисунке 1.

В условиях «хорошей» геометрии регистрируется только та часть излучения, которая не провзаимодействовала с атомами поглощающего вещества и была зарегистрирована детектором.

4. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ, ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ, ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТОВ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Описание экспериментальной установки и исходные данные для расчетов

Для исследования поглощающих свойств материалов используется геометрия широкого пучка. Схема экспериментальной установки, выполненная в «плохой» геометрии приведена на рис.2.

В случае «плохой» геометрии при большом телесном угле выхода излучения в детектор будет попадать не только провзаимодействующее излучение, но и часть рассеянных гамма-квантов (см. рис. 2).

Фактически это означает уменьшение свойств защитного экрана. Математически это выражается следующим образом:

$$\bar{X} = \bar{X}_0 \cdot e^{-\mu \cdot d} \cdot B, \quad (4)$$

где \bar{X} – мощность экспозиционной дозы после прохождения защиты толщиной d ; \bar{X}_0 – мощность экспозиционной дозы без защиты в той же точке детектирования; B – безразмерный множитель, называемый фактором накопления.

При решении практических задач защиты от ИИ наиболее удобно использовать дозовые факторы накопления, т.к. доза определяет степень воздействия излучения на человека.

Дозовый фактор накопления B_δ – это безразмерный множитель, учитывающий вклад в мощность дозы (интенсивность, поток) рассеянного излучения, зависящий от энергии излучения, толщины, плотности и атомного номера вещества защиты, а также от конфигурации защитных экранов. Значение фактора накопления всегда больше единицы и растет с увеличением толщины защиты, определяется по зависимости:

$$B_\delta(E_\gamma, \mu d, Z) = B_\infty \cdot \delta, \quad (5)$$

где B_∞ – дозовый фактор накопления для бесконечного поглощающего слоя (таблица 1); δ – фактор барьерности, независимый от толщины защиты (таблица 2)

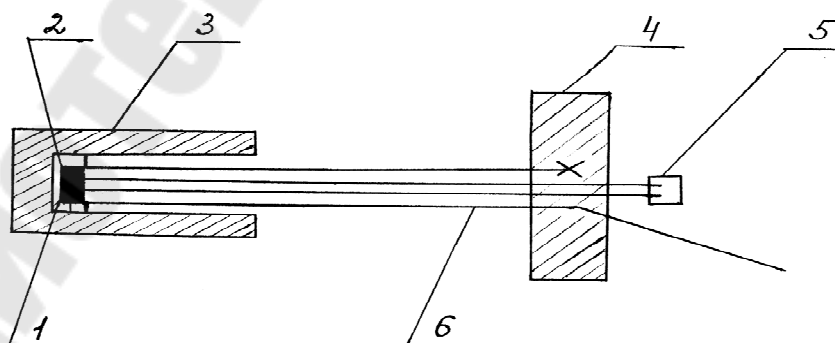


Рис. 1. Схема экспериментальной установки в геометрии узкого пучка: 1 – точечный источник излучения; 2 – контейнер; 3 – коллиматор (узкое

отверстие для выхода излучения); 4 – поглощающие пластины (железо, алюминий, свинец и т.д.); 5 – детектор, регистрирующий гамма-излучение; 6 – условное изображение гамма-излучения.

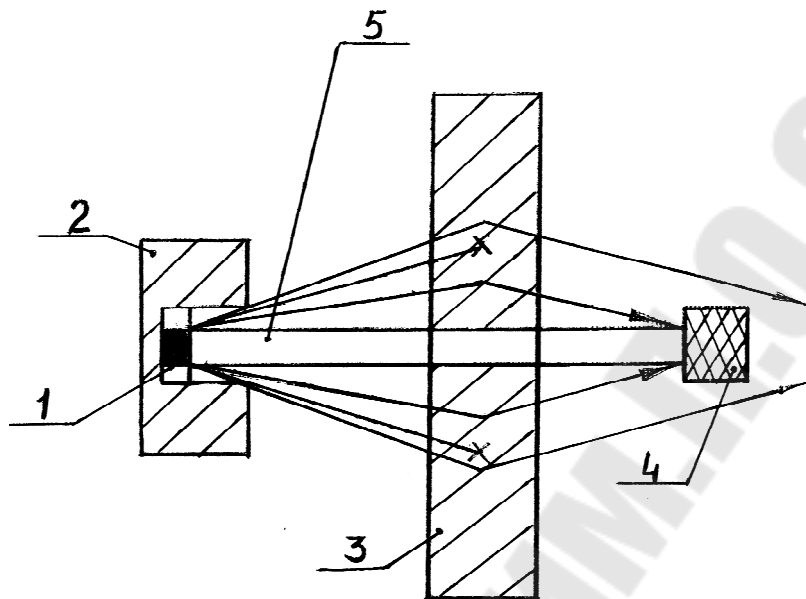


Рис. 2. Схема экспериментальной установки в «плохой» геометрии: 1 – точечный источник; 2 – контейнер; 3 – поглощающая пластина (алюминий, железо, свинец); 4 – детектор, регистрирующий гамма-излучение; 5 – условное изображение гамма-излучения.

Общее выражение для нахождения μ при измерении геометрии широкого пучка получается из (4):

$$(\bar{X} - \bar{X}_\phi) = (\bar{X}_0 - \bar{X}_\phi) \cdot e^{-\mu d} \cdot B_\delta, \quad (6)$$

где \bar{X}_ϕ – мощность экспозиционной дозы в месте эксперимента;

Логарифмируя и используя конкретные условия эксперимента, получим:

$$\mu_i = \frac{\ln(\bar{X}_{oi} - \bar{X}_\phi) - \ln(\bar{X}_i - \bar{X}_\phi) + \ln B_{\delta_i}}{d_i}, \quad (7)$$

где \bar{X}_i – мощность экспозиционной дозы за защитой толщиной d_i ; μ_i – линейный коэффициент ослабления; B_{δ_i} – дозовый фактор накопления за защитой толщиной d_i .

При нахождении значений V_{∞} и δ для определенных μd и энергии излучения $Cs-137$ в 0,661 МэВ используем методы решения пропорций в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

**Дозовый факторы накопления для различных материалов
(точечный изотропный источник в бесконечной среде)**

Материал	E_{γ} , МэВ	μd				
		1	2	4	7	10
Алюминий	0,5	2,37	4,24	9,47	21,5	38,9
	1,0	2,02	3,31	6,57	13,1	21,2
	2,0	1,75	2,61	4,62	8,05	11,9
Железо	0,5	1,98	3,09	5,98	11,7	19,2
	1,0	1,87	2,89	5,39	10,2	16,2
	2,0	1,76	2,43	4,13	7,25	10,9
Бетон	2,27	4,03	8,97	20,2	30,4	15,6
	1,98	3,24	6,42	12,7	20,7	37,2
	1,77	2,65	4,61	7,97	11,7	18,6

Таблица 2

**Отношения дозовых факторов накопления
для барьерной и бесконечной геометрии, δ**

E_0 , МэВ	Бетон	Алюминий	Железо
0,5	0,770	0,799	0,869
1,0	0,783	0,845	0,903
2,0	0,813	0,905	0,929

4.2. Проведение измерений и обработка результатов

4.2.1. Назначение и технические характеристики приборов

1. Дозиметр ДБГ-06Т предназначен для измерения мощности дозы окружающей среды и мощности экспозиционной дозы на рабочих местах, в смежных помещениях и на территории предприятий, использующих радиоактивные вещества и другие источники ионизирующего излучения.

Дозиметр предназначен для работы в условиях:

- при температуре окружающего воздуха от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
- при относительной влажности от 90% при $+30^{\circ}\text{C}$.

Дозиметр обеспечивает измерение в интервале энергий фотонов от 0,05 МэВ до 3 МэВ. В режиме «Измерение» измеряет мощность эквивалентной дозы окружающей среды от 0,1 мкЗв/ч до 99,99 мкЗв/ч или мощность экспозиционной дозы от 0,01 до 9,999 мр/ч. Предел основной действительной погрешности составляет $\pm 5\%$. В режиме работы «Поиск» прибор измеряет мощность эквивалентной дозы окружающей среды от 1 мкЗв/ч до 999,9 мкЗв/ч или мощность экспозиционной дозы от 0,10 до 99,99 мр/ч. Погрешность в этом режиме составляет $\pm 10\%$. Источником питания служат элементы типа «Корунд», «Крона» ($U = 9\text{В}$). Может работать непрерывно 100 ч. Время непрерывной работы до 100 ч.

В дозиметре применен ионизационный способ определения ионизирующих излучений. В качестве детектора служат газоразрядные счетчики СБМ-20. Информация об измерении выводится на цифровое табло.

2. Радиометр СРП-68-01 (назначение и технические характеристики прибора описаны в п. 4.3 лабораторной работы № 6).

4.2.2. Подготовка приборов к работе.

Для работы с дозиметром ДБГ-06Т необходимо:

1. Установить в отсеке питания батарею, соблюдая полярность.
2. Включить дозиметр, установить переключатель диапазона в одном из положений мр/ч или мкЗв/ч, а переключатель режимов работы в положение «КОНТР».
3. Нажать кнопку «Сброс».
4. Если счетные устройства дозиметра работают правильно и пригоден источник питания, на табло отразится число 0515 (без учета запятой при нажатии кнопки). Прибор готов к работе.

Для работы с радиометром СРП-68-01 необходимо:

1. Установить элементы питания типа А343 в батарейный отсек в соответствии со схемой на измерительном пульте.
 2. Установить переключатель режима работ в положение «Бат.».
- По показанию стрелочного прибора определить напряжение батареи питания, которое должно быть в пределах от 6,5 до 15 вольт. Если напряжение батареи питания составляет менее 6,5 вольт – сменить элементы питания.

3. Установить переключатель режима работы в положение «5» или «2,5», прибор готов к работе.

4. Измерения начинать не ранее, чем через 1 мин. после включения питания прибора.

4.2.3. Порядок проведения измерений.

1. Собрать схему эксперимента в соответствии с рис.2.

2. На расстоянии 0,5-1 м от места проведения эксперимента измерить 3-5 раз фоновое значение мощности экспозиционной дозы γ -излучения, в мкр/ч. Результаты занести в таблицу 4 (колонка 4, строка

1). Вычислить среднее значение \bar{X}_{ϕ}^{cp} , мкр/ч, результат занести в таблицу 4 (колонка 4, строка 2).

3. На контейнер с источником излучения поместить сверху одну пластину из железа, опустить держатель штатива на пластину, установить на держатель измерительный прибор и провести 3-5 измерений мощности экспозиционной дозы в точке детектирования с учетом защиты, $\bar{X}_{\gamma+\phi}$, мкр/ч. Результаты занести в таблицу 4 (колонка 5, строка 5). Убрать пластину с контейнера и провести 3-5 измерений мощности экспозиционной дозы $\bar{X}_{0+\phi}$, мкр/ч, без защиты в точке детектирования. Результаты занести в таблицу 4 (колонка 5, строка 3). Вычислить среднее значение $\bar{X}_{0+\phi}$ и $\bar{X}_{\gamma+\phi}$ в мкр/ч, результаты занести в таблицу 4 (колонка 5, строка 4 и 6 соответственно).

4. На контейнер с источником излучения установить две пластины из железа, затем три и более, т.е. увеличить толщину защиты до d_2 , d_3 и т.д. Провести измерения в каждом варианте в соответствии с п.п.3. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 4 (колонка 6, 7 строки 3, 4, 5, 6, 7 и т. д.).

5. На контейнер с источником измерения установить пластины из алюминия, бетона (кирпича), других материалов защиты. Провести измерения в соответствии с п.п. 3, 4. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 4 (колонка 8... 13, строки 3, 4, 5, 6, 7).

Примечание: измерения с увеличением толщины защиты (до d_2 , d_3 и т.д.) проводятся только для одного из видов материалов защиты.

6. Рассчитать для каждого вещества мощность экспозиционной дозы в точке детектирования без защиты: $\bar{X}_{0i}^{ip} - \bar{X}_{\phi}^{cp}$ и результаты занести в табл. 4 (строка 7, колонки 5... 13).

7. Рассчитать для каждого вещества мощность экспозиционной дозы в точке детектирования с защитой: $\bar{X}_{\gamma i} = \bar{X}_{\gamma+\phi}^{cp} - \bar{X}_{\phi}^{cp}$ и результаты занести в табл.4 (строка 8, колонки 5... 13).

8. Рассчитать B_{δ} по данным табл. 1, 2, используя методы решения пропорций и формулу 5. Расчеты провести для значений $\mu d_i = 1; 2; 3$. Результаты занести в таблицу 3.

9. По формуле (7) рассчитать значения μ_{ij} ; для каждого вещества

рассчитать средние $\mu_j = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{ij}}{n}$, результаты занести в табл. 4 (строки 9, 10).

10. По формуле (2) рассчитать массовый коэффициент ослабления μ_m для каждого μ_j , результаты занести в табл. 4 (строка 11).

11. По формуле (3) рассчитать величину слоя половинного ослабления d_{Δ} результаты занести в табл. 4 (строка 12).

12. Построить график зависимости мощности экспозиционной дозы γ -излучения от толщины поглощающего слоя и линейного коэффициента ослабления (для одного из видов защиты в таблице 4);

$$\bar{X}_{\gamma} = f(d); \bar{X}_{\gamma} = f(\mu).$$

13. Сделать выводы, показать сравнительную эффективность защиты от гамма-излучения различных материалов и сравнить экспериментально полученные значения коэффициентов линейного ослабления со справочными данными.

Таблица 3

Результаты расчетов фактора накопления B_{δ}

Коэф- фици- ент	Железо			Бетон			Алюминий		
	μd_1	μd_2	μd_3	μd_1	μd_2	μd_3	μd_1	μd_2	μd_3
B_{∞}									
δ									
B_{δ}									

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Таблица 4

Результаты измерений и расчетов коэффициентов поглощения μ , μ_m , слоя половинного ослабления d_{Δ}

№ п/ п	Измеренная и расчетная величина	№ изм.	Значение изм. фона	Значение измеряемых параметров									
				Железо ($\rho=7,8$ г/см ³)			Бетон ($\rho=2,35$ г/см ³)			Алюминий ($\rho=2,7$ г/см ³)			
				d_1	d_2	d_3	d_1	d_2	d_3	d_1	d_2	d_3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	\bar{X}_{ϕ} , мкр/час	1 2 3		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	\bar{X}_{ϕ}^{cp} , мкр/час	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	$\bar{X}_{0+\phi}$, мкр/час	1 2 3	-										
4	$\bar{X}_{0+\phi}^{cp}$, мкр/час (без защиты)	-	-										
5	$\bar{X}_{\gamma+\phi}$, мкр/час (с учетом защиты)	1 2 3	-										
6	$\bar{X}_{\gamma+\phi}^{cp}$, мкр/час	-	-										
7	$\bar{X}_{0i} = \bar{X}_{0+\phi}^{cp} - \bar{X}_{\phi}^{cp}$	-	-										
8	$\bar{X}_{\gamma i} = \bar{X}_{\gamma+\phi}^{cp} - \bar{X}_{\phi}^{cp}$	-	-										
9	$\mu_i = \frac{\ln \bar{X}_{0i} - \ln \bar{X}_{\gamma i} + \ln B_{\delta i}}{d_i}$	-	-										
10	$\mu_{cp} = \frac{\sum \mu_i}{n}$	-	-										

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
11	$\mu_m = \mu_{cp} / p$	–	–									
12	$d_{\Delta} = 0,693 / \mu_{cp}$	–	–									

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные механизмы взаимодействия гамма-излучения с веществом, их энергетическая зависимость.
2. Дать определения линейного и массового коэффициентов поглощения гамма-излучения μ , μ_m , от чего они зависят.
3. Что такое фактор накопления, от чего он зависит?
4. Что понимается под слоем половинного ослабления?

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Максимов М.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерения.: Учебное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 304 с.
2. Савостенко В.А. Практикум по ядерной физике и радиационной безопасности. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 192 с.
3. Голубев В.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. Изд. 4-е / Под ред. Е.А. Столяровой. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 321 с.
4. Ткаченко В.В. Дозиметрия и защита от излучений.: Учебное пособие. – Обнинск, 1990 – 79 с.
5. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. Изд. 3-е. – М.: Энергоатомиздат, 1987 – 251 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 4 Определение основных параметров ионизирующих излучений с помощью бытовых дозиметрических приборов	3
Лабораторная работа № 5 Определение удельной (объемной) активности радионуклидов в веществах	11
Лабораторная работа № 6 Измерение и оценка мощности экспозиционной дозы, поглощенной дозы.....	19
Лабораторная работа № 7 Измерение и оценка защитных свойств различных материалов от гамма-излучения	30

**Крючек Николай Семенович
Морозова Ольга Юрьевна
Новикова Валентина Афанасьевна**

**ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ОБЪЕКТОВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
Лабораторный практикум
для студентов всех специальностей**

Подписано в печать 30.06.09.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,25.

Изд. № 29.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.