

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

**Н. С. Крючек, О. Ю. Морозова, Н. М. Кидун**

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

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименному курсу  
для студентов всех специальностей  
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2012

УДК 355.58+614.8(075.8)  
ББК 68.9я73  
К85

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 5 от 22.02.2011 г.)*

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

**Крючек, Н. С.**

К85

Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность : лаборатор. практикум по одноим. курсу для студентов всех специальностей днев. формы обучения / Н. С. Крючек, О. Ю. Морозова, Н. М. Кидун. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 34 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.

ISBN 978-985-535-058-4.

Является продолжением цикла лабораторных работ. Включает в себя методику выполнения двух лабораторных работ; позволяет студентам изучить теоретические вопросы по разделу радиационной безопасности и получить навыки по определению основных параметров ионизирующих излучений с помощью дозиметрических приборов РКС-107 и МКС-АТ1117М.

Для студентов всех специальностей дневной формы обучения.

**УДК 355.58+614.8(075.8)  
ББК 68.9я73**

**ISBN 978-985-535-058-4**

© Крючек Н. С., Морозова О. Ю.,  
Кидун Н. М., 2012  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2012

## *Лабораторная работа № 8*

### **Измерение и оценка мощности эквивалентной дозы, плотности потока бета-излучения, суммарной удельной активности радионуклидов в водных растворах с помощью комбинированного прибора РКС-107**

*Цель работы:* закрепить теоретические знания переносных дозиметрических приборов; получить практические навыки в измерении: мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения; плотности потока бета-излучения с загрязненных радионуклидами поверхностей; суммарной удельной активности радионуклидов в водных растворах.

*Учебно-материальное обеспечение:*

- комбинированный прибор РКС-107 – 1–3 комплекта;
- носилки санитарные – 1 шт.;
- камера защитная детская КЗД-4 – 1 шт.;
- защитно-фильтрующая одежда ЗФО – 1 комплект;
- емкость с дистиллированной (питьевой) водой (1 л) – 1 шт.;
- емкость с водным раствором поваренной соли (1 л) – 1 шт.;
- емкость с водным раствором соли калия (1 л) – 1 шт.

## **8.1. Краткие теоретические сведения**

### **8.1.1. Понятие амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения и ее мощности**

Ионизирующее излучение, распространяясь в воздухе, в различных веществах, в биологической ткани живых организмов вызывает возбуждение атомов и молекул, часто их ионизацию и разрушение.

Для установления закономерностей воздействия распространения и поглощения ионизирующих излучений в среде, в том числе и в биологической ткани, введены понятия экспозиционной, поглощенной, эквивалентной, эффективной доз излучения и их мощностей.

Установлено, что при облучении одной и той же энергией биологической ткани человека, т. е. при получении одной и той же дозы, но различными видами лучей последствия для здоровья будут разными. Поэтому для биологической ткани введена характеристика – эквивалентная доза.

*Амбиентная эквивалентная доза* – это эквивалентная доза внешнего облучения гамма-рентгеновским излучением.

Эквивалентная доза ( $H_{TR}$ ) – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения ( $W_R$ ):

$$H_{TR} = D_{TR} \cdot W_R, \quad (8.1)$$

где  $D_{T.R}$  – средняя поглощенная доза в органе или ткани  $T$ ;  $W_R$  – взвешивающий коэффициент для излучения  $R$ .

Формула (8.1) справедлива для оценки доз как внешнего, так и внутреннего облучения только отдельных органов и тканей или равномерного облучения всего тела человека малыми дозами (дозами, не превышающими 5 предельно допустимых доз (ПДД) 250 мЗв).

Таблица 8.1

Значения взвешивающих коэффициентов  $W_R$

№ п/п	Вид излучения	$W_R$
1	Фотоны и электроны любых энергий, $\beta$ -излучение	1
2	Нейтроны: $E < 10$ кэВ; $E > 20$ МэВ;	5
	$E = 10 \div 100$ кэВ; $E = 2 \div 20$ МэВ;	10
	$E = 100$ кэВ $\div$ 2 МэВ	20
3	Протоны с энергией $> 2$ МэВ	5
4	Тяжелые ядра, осколки деления, альфа-частицы	20

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

$$H_T = \sum_R H_{TR}. \quad (8.2)$$

Единицы измерения эквивалентной дозы в системе СИ – Зиверт (Зв), мЗв, мкЗв; внесистемная – бэр, мбэр, мкбэр и т. д.

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}.$$

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

$$\overline{H}_{TR} = \frac{dH_{TR}}{dt}. \quad (8.3)$$

Единицы измерения мощности эквивалентной дозы в системе СИ – Зв/с, Зв/ч, мЗв/ч, мкЗв/ч; внесистемные – бэр/ч; бэр/с; мбэр/ч; мкбэр/ч и т. д.

### **8.1.2. 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  $dt$ :

$$F = \frac{dN}{dt}, \text{ с}^{-1}. \quad (8.4)$$

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

$$\varphi = \frac{dF}{dS}, \text{ част}/(\text{с} \cdot \text{см}^2) \text{ или } 1/(\text{с} \cdot \text{см}^2). \quad (8.5)$$

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

### **8.1.3. Активность радионуклидов, единицы измерения**

*Активность* ( $A$ ) – это физическая величина, характеризующая число радиоактивных распадов  $dN$  в единицу времени ( $dt$ ):

$$A = dN / dt. \quad (8.6)$$

Единицами измерения активности приняты:

- в системе СИ – Беккерель (Бк);  $1 \text{ Бк} = 1 \text{ распад/с}$ ;
- внесистемная – Кюри (Ки);  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ ;  $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$ .

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 ( $A_m$ ), объемную ( $A_v$ ) и поверхностную ( $A_s$ ) активности можно записать соответственно в виде:

$$A_m = A/m; \quad A_v = A/v; \quad A_s = A/s, \quad (8.7)$$

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

Очевидно, что

$$A_m = A/m = A/s\rho h = A_s/\rho h = A_v/\rho, \quad (8.8)$$

где  $\rho$  – плотность почвы, принимаемая равной  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $h$  – корнеобитаемый слой почвы, принимается равным  $0,2 \text{ м}$ ;  $s$  – площадь радиоактивного заражения,  $\text{м}^2$ .

Тогда

$$A_m = 5 \cdot 10^{-3} \cdot A_s, \text{ или } A_m = 10^{-3} \cdot A_v.$$

Удельная активность может быть выражена в Бк/кг, Ки/кг; поверхностная – в Бк/м<sup>2</sup>, Ки/м<sup>2</sup>; объемная – в Бк/м<sup>3</sup>, Ки/м<sup>3</sup> или Бк/л, Ки/л.

На практике могут быть использованы как укрупненные, так и дольные единицы измерения. Например: Бк/г; Бк/см<sup>2</sup>; Ки/км<sup>2</sup>.

Для того чтобы максимально ограничить поступление радионуклидов в организм человека с продуктами питания и водой, в Республике Беларусь введены Республиканские допустимые уровни (РДУ). В настоящее время действуют Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и воде (РДУ-2001) (табл. 8.2).

Таблица 8.2

**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
<i>Для цезия-137</i>		
Вода питьевая	$2,7 \cdot 10^{-10}$	10
Молоко и цельномолочная продукция	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Молоко сгущенное и концентрированное	$5,4 \cdot 10^{-10}$	200
Творог и творожные изделия, сыры сычужные и плавленые	$1,4 \cdot 10^{-10}$	50
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	$1,6 \cdot 10^{-9}$	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	$5,0 \cdot 10^{-8}$	185
Грибы свежие	$1,0 \cdot 10^{-8}$	370
Грибы сушеные	$6,8 \cdot 10^{-8}$	2500
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	$1,0 \cdot 10^{-9}$	37
Прочие продукты питания	$1,0 \cdot 10^{-8}$	370
<i>Для стронция-90</i>		
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

## 8.2. Назначение, принцип работы и технические характеристики прибора РКС-107, подготовка его к работе

### 8.2.1. Назначение и технические характеристики прибора

Прибор РКС-107 предназначен для контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможность измерения:

- мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения;
- плотности потока бета-излучения с загрязненной радионуклидами поверхности;
- суммарной удельной активности радионуклидов в водных растворах.

Диапазон измерений:

1) мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения: 0,1–999 мкЗв/ч;

2) плотности потока бета-излучения: 0,1–999 1/(с · см<sup>2</sup>);

3) суммарной удельной активности радионуклидов: 2–9990 Бк/г.

Пределы допустимых значений основных относительных погрешностей измерений:

1) мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучений:

– в поддиапазоне от 0,1 до 0,99 мкЗв/ч – ±30 %;

– в поддиапазоне от 1 до 9,99 мкЗв/ч – ±30 %;

– в поддиапазоне от 10 до 99,9 мкЗв/ч – ±25 %;

– в поддиапазоне от 100 до 999 мкЗв/ч – ±20 %;

2) плотности потока бета-излучения поверхности на всех вышеуказанных поддиапазонах ± 25 %;

3) суммарной удельной активности радионуклидов:

– в поддиапазоне от 2 до 10 Бк/г – ±35 %;

– в поддиапазоне от 10 до 100 Бк/г – ±35 %;

– в поддиапазоне от 100 до 1000 Бк/г – ±32 %;

– в поддиапазоне от 1000 до 9990 – не нормируется.

Время одного измерения в начале диапазона измерений (первый поддиапазон) не превышает:

– при измерении мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения (53 ± 1,2) с;

– при измерениях плотности потока бета-излучения с поверхности (37 ± 1,0) с;

– при измерениях суммарной удельной активности радионуклидов ( $240 \pm 6,0$ ) с.

Время непрерывной работы прибора не менее 8 ч.

Прибор эксплуатируется в условиях:

– температура окружающего воздуха от  $-10$  до  $+40$  °С;

– относительная влажность воздуха при  $t = +35$  °С не более 90 %.

Питание прибора осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением  $9,0 \pm 1,0$  В.

Габаритные размеры прибора –  $160 \times 82 \times 45$  мм.

Масса прибора – 0,45 кг.

### ***8.2.2. Принцип работы прибора***

При включении прибора кнопкой «Вкл» напряжение питания подается от батареи на элементы схемы. Преобразователь напряжения формирует напряжение питания газоразрядных счетчиков. При попадании в рабочие объемы счетчиков гамма-квантов или бета-частиц на нагрузках счетчиков появляются импульсы, средняя частота следования которых пропорциональна измеряемой мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения (плотности потока бета-излучения с поверхности или удельной активности). При нажатии кнопки «Пуск» эти импульсы попадают на счетную схему, которая обеспечивает прямой отсчет показаний в единицах мощности дозы, плотности потока частиц и уменьшенных в десять раз показаний в единицах удельной активности. Требуемый режим измерения выбирается нажатием кнопки «Режим». В процессе счета появляется точка между 1-м и 2-м разрядами индицируемого числа, пульсирует черный сегмент, указывающий режим и единицу измерения.

### ***8.2.3. Подготовка прибора к работе***

1. Произведите зарядку аккумуляторной батареи в соответствии с техническим описанием.

2. Установите батарею в батарейный отсек прибора, соблюдая полярность.

3. Проверьте работоспособность прибора, для чего:

– нажмите кнопку включения «Вкл», при этом на табло жидкокристаллического индикатора должны появиться символы «000» и рядом с надписью «мкЗв/ч» (режим измерения мощности амбиентной эквивалентной дозы) символ указателя режима работы;

– нажмите кнопку «Пуск», при этом на табло появится точка между первым и вторым цифровыми символами и начнет пульсиро-

вать указатель режима работы. Через  $(53 \pm 1,2)$  с прибор должен зарегистрировать значение мощности амбиентной эквивалентной дозы внешнего фона гамма-излучения в мкЗв/ч, сработает звуковой сигнал, указатель режима работы перестанет пульсировать.

4. Прибор работоспособен, если он проводит измерение излучения гамма-фона, отсутствует символ разряда батареи и прибор автоматически отключается не позднее чем через 200 с.

5. Аналогично проверяется работоспособность на других режимах работы  $[1/(с \cdot см^2)]$  и  $[Бк/г \times 10]$ . Выбор режима работы производится нажатием кнопки «Режим».

### 8.3. Порядок выполнения работы

#### 8.3.1. Измерение мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения

1. Включите прибор, нажав кнопку «Вкл». Сработает звуковой сигнал, на табло появятся «000», указатель режима работы «—» установится в положение «мкЗв/ч».

2. Нажмите кнопку «Пуск». Сработает звуковой сигнал, на табло появится «0.00», индикатор режима работы начнет пульсировать. Через  $(53 \pm 1,2)$  с индикатор режима работы перестанет пульсировать, сработает звуковой сигнал, на табло отобразится результат измерения, например 0,12 мкЗв/ч.

3. Повторите 3–5 раз измерения нажатием кнопки «Пуск» в соответствии с п. 2, определите среднее значение мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения.

4. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 8.3.

$$H_{TR}^{cp} = \sum_{i=1}^n H_{TR_i} / n. \quad (8.9)$$

Таблица 8.3

Результаты измерений и выполненных расчетов

Номер измерений	Численное значение показаний	Среднее значение показаний
	$H_{TR}$ , мкЗв/ч	$H_{TR}^{cp}$ , мкЗв/ч
1		
2		
3		
4		
5		

### 8.3.2. Измерение плотности потока бета-излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами

1. Включите прибор, нажав кнопку «Пуск».
  2. Нажимая кнопку «Режим» установите указатель режима работы « $\leftarrow$ » в положение « $1/(с \cdot см^2)$ ».
  3. Расположите прибор на расстоянии не менее 0,5–1 м от исследуемой поверхности и нажмите кнопку «Пуск». Указатель режима работы начнет пульсировать, идет измерение. Через  $(37 \pm 1,0)$  с пульсация прекратится, сработает звуковой сигнал, на табло отобразится результат измерения фонового показания прибора ( $\Phi_{\phi}$ ), например  $0,09 1/(с \cdot см^2)$ .
  4. Повторите 3–5 раз измерения, определите среднее значение  $\Phi_{\phi}^{cp}$  в бета-частицах в секунду с квадратного сантиметра.
  5. Результаты измерений занести в табл. 8.4.
  6. Выключите прибор, нажав кнопку «Выкл».
  7. Снимите заднюю крышку-фильтр. Поднесите прибор к исследуемой поверхности на расстояние не более 1 см от нее. Включите прибор кнопкой «Вкл», кнопкой «Режим» установите режим « $1/(с \cdot см^2)$ », затем нажмите кнопку «Пуск». Прибор начинает измерение, как указано в п. 3, величины плотности потока бета-частиц с поверхности ( $\Phi_{\pi}$ ), например  $0,24 1/(с \cdot см^2)$ .
  8. Повторите 3–5 раз измерения, определите среднее значение  $\Phi_{\phi}^{cp}$ . Результаты измерений занесите в табл. 8.4.
- По формуле (8.10) определите плотность потока бета-частиц с загрязненной радионуклидами поверхности:

$$\Phi = \Phi_{\pi}^{cp} - \Phi_{\phi}^{cp} \quad (8.10)$$

Таблица 8.4

Результаты измерений и выполненных расчетов

Исследуемая поверхность	Номер измерения	Показания прибора с закрытой крышкой-фильтром		Показания прибора со снятой крышкой-фильтром		Плотность потока $\Phi$ , част/ $(см^2 \cdot с)$ ( $1/(см^2 \cdot с)$ )
		$\Phi_{\phi}$ ( $1/(см^2 \cdot с)$ )	$\Phi_{\phi}^{cp}$ ( $1/(см^2 \cdot с)$ )	$\Phi_{\pi}$ ( $1/(см^2 \cdot с)$ )	$\Phi_{\phi}^{cp}$ ( $1/(см^2 \cdot с)$ )	
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					

### 8.3.3. Измерение суммарной удельной активности радионуклидов в водных растворах

1. Снимите заднюю крышку-фильтр.
2. Заполните измерительную кювету чистой в радиационном отношении водой до метки-буртика внутри кюветы, установите прибор на кювету.
3. Включите прибор кнопкой «Вкл». Нажмите дважды кнопку «Режим», установите указатель режима работы в положение «Бк/г × 10».
4. Нажмите кнопку «Пуск». Через  $(240 \pm 6,0)$  с цикл измерения закончится, сработает звуковой сигнал, на табло отобразится значение фонового показания прибора, например  $0,51 \text{ Бк/г} \times 10$ .
5. Повторите 3–5 раз измерения, найдите среднее арифметическое значение, умножьте на «10», получите результат фоновых показаний ( $A_{\text{ф}}$ ) в Бк/г. Результаты измерений и расчетов запишите в табл. 8.5. Выключите прибор и снимите с кюветы.
6. Вылейте воду из кюветы, просушите ее и заполните исследуемым раствором до той же метки.
7. Вновь установите прибор на кювету, выполните работы по п. 3.
8. Нажмите кнопку «Пуск». Через  $(240 \pm 6,0)$  с цикл измерения закончится, сработает звуковой сигнал, на табло отобразится результат измерения исследуемого раствора ( $A_u$ ) в «Бк/г × 10», например «0,94 Бк/г × 10».
9. Повторите 3–5 раз измерения, найдите среднее арифметическое значение, умножьте на «10», получите результат фоновых показаний ( $A_u$ ) в Бк/г.
10. Рассчитайте величину удельной активности радионуклидов в водном растворе в Бк/г по формуле

$$A_m = (A_u^{\text{сп}} - A_{\text{ф}}^{\text{сп}}). \quad (8.11)$$

11. Значение « $A_m$ » в Бк/г умножьте на 1000 или на  $2,7 \cdot 10^{-11}$  для получения значений в Бк/кг или Ки/кг. Полученные результаты сравните с РДУ-2001 (табл. 8.2).

12. Снимите прибор с кюветы, выключите его и установите крышку-фильтр на место. Вылейте анализируемый водный раствор, просушите кювету, при необходимости произведите дезактивацию с применением синтетических моющих средств.

13. Результаты измерений и расчетов запишите в табл. 8.5.

Таблица 8.5

## Результаты измерений и выполненных расчетов

Исследуемая проба \_\_\_\_\_

Номер измерения	Показания прибора при измерении фоновой воды ( $A_{\phi}$ )				Показания прибора при измерении исследуемой пробы ( $A_u$ )				Удельная активность ( $A_m$ ) радионуклидов в пробе		Значение удельной активности согласно РДУ-2001 Бк/л, Бк/кг, Ки/л, Ки/кг
	отдельные $A_{\phi i}$ , Бк/г $\times 10$	среднее $A_{\phi}^{cp}$ , Бк/г $\times 10$	$A_{\phi}^{cp}$ , Бк/г	$A_{\phi}^{cp}$ , Бк/кг	отдельные $A_{ui}$ , Бк/г $\times 10$	среднее $A_u^{cp}$ , Бк/г $\times 10$	$A_u^{cp}$ , Бк/г	$A_u^{cp}$ , Бк/кг	Бк/л, Бк/кг	Ки/л, Ки/кг	
1											
2											
3											
4											
5											

#### **8.4. Контрольные вопросы**

1. Назначение, принцип работы и краткие технические характеристики прибора РКС-107.
2. Понятие AMBIENTНОЙ эквивалентной дозы гамма-излучения и ее мощности.
3. Понятие плотности потока ионизирующих частиц.
4. Активность радионуклидов, единицы измерения.

#### **8.5. Литература**

1. Постник, М. И. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях : учебник / М. И. Постник. – Минск : Выш. шк., 2003. – 398 с.
2. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : учеб. пособие / С. В. Дорожко [и др.]. – Минск : Дикта, 2006. – Ч. 3 : Радиационная безопасность. – 308 с.
3. Прибор комбинированный РКС-107, паспорт.

## Лабораторная работа № 9

### Определение основных параметров ионизирующих излучений с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М

*Цель работы:* закрепить теоретические знания переносных дозиметрических приборов; получить практические навыки в измерении: мощности амбиентной дозы и дозы гамма-излучения; плотности потока и флюенса бета-излучения с загрязненных радионуклидами поверхностей; плотности потока и флюенса альфа-излучения с различных поверхностей.

*Учебно-материальное обеспечение:*

- дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М – 1 комплект;
- носилки санитарные – 1 шт.;
- камера защитная детская КЗД-4 – 1 шт.;
- крупы разные (пшеничная, овсяная и др.) – 1 кг;
- защитная фильтрующая одежда ЗФО – 1 комплект;
- калийная соль – 1 кг.

#### 9.1. Краткие теоретические сведения

##### 9.1.1. Основные характеристики ионизирующих излучений

*Ионизирующим излучением (ИИ)* называют любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к ионизации молекул и атомов среды.

*Ионизация* – процесс превращения нейтральных молекул и атомов среды (вещества) в электрически заряженные частицы (ионы). Ионизация происходит в результате отрыва одного или нескольких электронов от электронной оболочки атома или присоединения к ней избыточных электронов. В результате отрыва электронов образуются положительные, а в результате присоединения – отрицательные ионы. В процессе ионизации возникает возбуждение атомов, причиной которого являются структурные перестройки в атоме.

Различают корпускулярное (непосредственное) ИИ и косвенное (фотонное) ИИ.

*Корпускулярное ИИ* представляет собой поток заряженных частиц с массой покоя отличной от нуля. Оно включает: альфа- и бета-частицы, электроны, позитроны, протоны и др.

*Косвенное* ИИ состоит из фотонов и незаряженных частиц, т. е. вторичного непосредственно ИИ. К косвенному ИИ относятся: гамма-излучение, рентгеновское, характеристическое рентгеновское излучение (ХРН), тормозное рентгеновское излучение, потоки нейтронов и незаряженных частиц (мезонов, гиперонов) и др.

Все виды излучений, в том числе радиоволны, инфракрасный и видимый свет, ультрафиолетовое излучение, имеют одну и ту же природу и представляют собой поток электромагнитных колебаний, распространяющийся в вакууме со скоростью равной 300 тыс. км/с. Различаются эти излучения условиями образования их, а также свойствами (длиной волны и энергией).

В процессе взаимодействия ИИ с веществом изменяется его энергетическое и пространственно-временное распределение. Для установления закономерностей распространения и поглощения ИИ в среде необходимо знать, сколько частиц или фотонов, с какой энергией и в каком направлении приходят в каждую точку пространства, т. е. иметь представление о поле ионизации. Для характеристики поля ИИ введены понятия:

- поток частиц и поток энергии;
- плотность потока частиц и плотность потока энергии;
- флюенс (перенос) частиц и флюенс энергии.

*Поток* ИИ ( $F$ ) есть отношение числа частиц ( $dN$ ), проходящих через данную поверхность за интервал времени ( $dt$ ), к этому интервалу:

$$F = dN / dt . \quad (9.1)$$

Единица измерения –  $c^{-1}$ .

*Поток энергии* ИИ есть отношение потока суммарной энергии частиц ( $dW$ ), проходящего через данную поверхность за интервал времени ( $dt$ ), к этому интервалу:

$$F_W = dW / dt . \quad (9.2)$$

Единицы измерения в системе СИ – Дж/с, Вт; внесистемная единица – эВ.

Плотность потока ионизирующих частиц ( $\phi$ ) есть отношение потока частиц, проникающих в элементарную сферу, к площади центрального сечения ( $dS$ ) этой сферы:

$$\phi = dF / dS . \quad (9.3)$$

Единицы измерения –  $1/c \cdot m^2$ ; част/мин  $\cdot cm^2$ .

Плотность потока энергии ( $\varphi_W$ ) есть отношение потока энергии ионизирующих частиц, проникающих в элементарную сферу, к площади центрального сечения ( $dS$ ) этой сферы:

$$\varphi_W = dF_W / dS . \quad (9.4)$$

Единицы измерения – Дж/с · м<sup>2</sup>; Вт/м<sup>2</sup>.

Флюенс (перенос) ионизирующих частиц ( $\Phi$ ) есть отношение числа частиц ( $dN$ ), проникающих в элементарную сферу, к площади центрального сечения этой сферы:

$$\Phi = dN / dS . \quad (9.5)$$

Единица измерения – 1/м<sup>2</sup>.

Флюенс энергии есть отношение потока суммарной энергии ионизирующих частиц ( $dW$ ), проникающего в элементарную сферу, к площади центрального сечения ( $dS$ ) этой сферы:

$$\Phi_W = dW / dS . \quad (9.6)$$

Единицы измерения в СИ – Дж/м<sup>2</sup>; внесистемная – эВ/м<sup>2</sup>.

Плотность потока частиц и энергии характеризует число ионизирующих частиц или энергию, проходящую через единицу поверхности в единицу времени, а флюенс (перенос) – число частиц или энергии, проходящую через единицу поверхности.

Энергетические и пространственно-временные характеристики ИИ изменяются в зависимости от взаимодействия ИИ со средой. Различают упругое и неупругое взаимодействие. При упругом – не изменяется природа частиц и их суммарная энергия остается постоянной до и после взаимодействия; происходит только перераспределение энергии между взаимодействующими частицами. При неупругом взаимодействии также не изменяется природа частиц, но их суммарная энергия после взаимодействия оказывается меньше, так как часть энергии затрачивается на производство какой-либо работы (нагрев системы, возбуждение атомов или молекул и т. п.)

Энергия, теряемая гамма-квантом или частицей на единице длины их пути, называется линейной передачей энергии (ЛПЭ):

$$\text{ЛПЭ} = -dW / dL, \text{ Дж/м};$$

$$1 \text{ Дж} = 0,24 \text{ кал} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ эВ};$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 3,83 \cdot 10^{-20} \text{ кал}.$$

### 9.1.2. Доза ионизирующего излучения, основные понятия дозы

Доза ионизирующего излучения – часть энергии радиационного излучения, которая расходуется на ионизацию и возбуждение атомов и молекул любого облученного объекта. Доза излучения характеризует меру воздействия ИИ и его возможные последствия.

Ионизация и возбуждение связаны с поглощенной энергией излучения в веществе, поэтому именно они выбраны для характеристики меры воздействия ИИ на среду. В этих целях введено понятие «поглощенная доза», иногда используется термин «доза ИИ». По НРБ-2000 вводятся следующие основные понятия, относящиеся к термину «доза»:

Поглощенная доза ( $D$ ) – энергия, передаваемая единице массы вещества при воздействии на него ИИ. Другими словами, поглощенная доза ( $D$ ) – это отношение энергии  $dE$ , которая передана веществу ионизирующим излучением в элементарном объеме, к массе  $dm$  вещества в этом объеме:

$$D = \frac{dE}{dm}. \quad (9.7)$$

В качестве единицы измерения поглощенной дозы в системе СИ принят Грей (Гр). Внесистемная единица – рад.  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$ .

Доза в органе или биологической ткани – средняя поглощенная доза в определенном органе или ткани человеческого тела:

$$D_T = \frac{E_T}{m_T}, \quad (9.8)$$

где  $E_T$  – полная энергия, переданная ИИ органу или ткани (Дж);  $m_T$  – масса органа или ткани (кг).

Керма – характеристика, используемая для оценки воздействия на среду косвенно ионизирующих излучений. Керма – это отношение суммы первоначальных кинетических энергий  $dE_k$  всех заряженных частиц, образованных косвенно ИИ в элементарном объеме, к массе  $dm$  вещества в этом объеме:

$$K = dE_k / dm. \quad (9.9)$$

Керму измеряют в тех же единицах, что и поглощенную дозу.

Эквивалентная доза  $H_{TR}$  – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий коэффициент качества излучения ( $W_R$ ) для данного вида излучения.

Введена для оценки последствий облучения биологической ткани малыми дозами, не превышающими 5 ПДД (предельно допустимых доз) или 250 мЗв/год.

$$H_{TR} = D_{TR} \cdot W_R, \quad (9.10)$$

где  $D_{TR}$  – поглощенная доза биологической тканью излучением  $R$ , Гр;  $W_R$  – коэффициент качества излучения, определяется из табл. 9.1.

Таблица 9.1

Коэффициенты качества излучений,  $W_R$

Вид излучения и диапазон энергии	$W_R$
Фотоны и электроны всех энергий	1
Нейтроны с энергией: < 10 кэВ; > 20 МэВ	5
> 2 до 20 МэВ; от 10 до 100 кэВ	10
>100 кэВ до 2 МэВ	20
Протоны с энергией более 2 МэВ	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Единица измерения эквивалентной дозы в системе СИ – Зиверт (Зв), внесистемная – бэр (биологический эквивалент рада). Используются также дробные единицы – мкЗв, мЗв. 1 Зв = 100 бэр.

Эффективная доза ( $E$ ) – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения с учетом индивидуальной радиочувствительности различных органов и тканей тела человека. Она используется в случае неравномерного облучения тела человека, которое возникает в основном при внутреннем облучении из-за того, что различные радионуклиды, попавшие внутрь человека, накапливаются в определенных органах. Учет неравномерного облучения производится с помощью коэффициента радиационного риска  $W_T$  (взвешивающий коэффициент), который учитывает радиочувствительность различных органов человека:

$$E = \sum H_i \cdot W_{T_i}, \quad (9.11)$$

где  $H_i$  – эквивалентная доза в данном  $i$ -том органе биологической ткани;  $W_{T_i}$  – взвешивающий коэффициент для тканей и органов, табл. 9.2.

Единицы измерения эффективной дозы те же, что и эквивалентной дозы.

Таблица 9.2

**Взвешивающие коэффициенты,  $W_T$**

Ткань или орган	$W_T$
Половые железы	0,20
Красный костный мозг, толстый кишечник, легкие, желудок	по 0,12 соответственно
Мочевой пузырь, молочные железы, печень, пищевод, щитовидная железа	по 0,05 соответственно
Кожа, клетки костных поверхностей	0,01
Остальные органы	0,05

*Эффективная (эквивалентная) годовая доза* – сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленного поступлением радионуклидов внутрь организма за этот же год.

Единица измерения годовой дозы – Зиверт (*Зв*).

*Коллективная эквивалентная доза ( $S_T$ )* в биологической ткани (Т) для выражения общего облучения конкретной ткани у группы людей применяется на основе табл. 9.2.

*Коллективная эквивалентная доза* – сумма индивидуальных эквивалентных доз  $H_i$  у данного контингента людей за данный промежуток времени:

$$H = \sum_{i=1}^N H_i N_i, \quad (9.12)$$

где  $N_i$  – число лиц, получивших эквивалентную дозу  $H_i$ .

*Коллективная эффективная доза ( $S$ )* относится в целом к определенной популяции. Она равна произведению средней эффективной дозы на число лиц в облученной группе людей.

Единицы коллективных доз – чел. · Зв, чел. · бэр,

*Мощность дозы* – доза, отнесенная ко времени воздействия излучения или отношение приращения дозы ( $dD$ ,  $dH$ ,  $dK$ ,  $dE$ ) за интервал времени  $dt$  к этому интервалу.

Отсюда:

1. Для мощности поглощенной дозы:

$$\tilde{D} = \frac{dD}{dt}. \quad (9.13)$$

Единицы измерения в СИ – Гр/с, Гр/ч; внесистемные – рад/с, рад/ч и т. д.

2. Для *мощности эквивалентной дозы*:

$$\tilde{H}_{TR} = \frac{dH_{TR}}{dt}. \quad (9.14)$$

Единицы измерения в системе СИ – мЗв/с, мкЗв/с, Зв/ч; внесистемные – бэр/с, мбэр/с и т. д.

3. Для *мощности кермы*:

$$\tilde{K} = dE_k / dt. \quad (9.15)$$

Единицы измерения такие же, как мощности поглощенной дозы.

4. Для *мощности эффективной дозы*:

$$\tilde{E} = dE / dt. \quad (9.16)$$

Единицы измерения такие же, как мощности эквивалентной дозы.

Мощность дозы – это не только количественный, но и важнейший качественный показатель, характеризующий вероятное последствие облучения. При одинаковой дозе всегда опаснее большая однократная мощность дозы.

### 9.1.3. Понятие амбиентной дозы

Амбиентная доза определяется эквивалентом амбиентной дозы, который используется для характеристики поля излучения в точке, совпадающей с центром шарового фантома. Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ) дает определение эквивалента амбиентной дозы как эквивалентной дозы, которая создается в некоторой точке в поле излучения соответственно достроенным и распространённым полем в стандартном шаре МКРЕ на глубине  $d$  по радиусу, имеющему направление, противоположное направлению распространения поля; символ  $H(d)$ . Для сильно проникающего излучения рекомендуется величина  $d = 10$  мм.

*Эквивалент дозы амбиентной* (амбиентная доза)  $H(d)$  – эквивалент дозы, который был создан в шаровом фантоме МКРЕ на глубине  $d$  (мм) от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излучения, идентичном рассматриваемому

по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленном и однородном, т. е. AMBIENTная эквивалентная доза  $H(d)$  – это доза, которую получил бы человек, если бы находился на месте, где проводится измерение. Это могут быть эквивалентная и эффективная дозы (описаны в параграфе 9.1.2). Единица эквивалента AMBIENTной дозы – Зиверт (Зв).

## **9.2. Назначение и технические характеристики прибора**

**1. Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М предназначен для измерения:**

- AMBIENTной дозы и мощности AMBIENTной дозы рентгеновского и гамма-излучения в широком диапазоне;
- экспозиционной дозы и мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения;
- плотности потока и флюенса бета-частиц с загрязненных поверхностей;
- плотности потока и флюенса альфа-частиц  $^{293}\text{Pu}$ ;
- оперативного поиска источников ионизирующих излучений и радиоактивных материалов;
- плотности потока и флюенса нейтронного излучения с известным энергетическим распределением;
- AMBIENTной дозы и мощности AMBIENTной дозы нейтронного излучения.

**2. С блоком детектирования БДПС-02 прибор измеряет:**

- мощность AMBIENTной дозы гамма и рентгеновского излучения в пределах 0,1 мкЗв/ч до 30 мЗв/ч;
- AMBIENTную дозу гамма и рентгеновского излучения в пределах 0,1 мкЗв до 1 Зв.

**3. Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения для БДПС-02:**

- для плотности потока и флюенса альфа-частиц  $\pm 30\%$ ;
- для плотности потока и флюенса бета-частиц  $\pm 20\%$ .

**4. Прибор при включении автоматически устанавливает фиксированные значения пороговых уровней:**

- по мощности дозы – 29 мкЗв/ч;
- по дозе – 180 мкЗв.

**5. Время установления рабочего режима прибора 1 мин.**

Время непрерывной работы с каждым БД не менее 24 ч при автономном питании. При этом нестабильность показаний за время непрерывной работы не превышает 5 %.

**6. Требования надежности:**

- средняя наработка на отказ – не менее 4000 ч;
- средний срок службы – не менее 10 лет;
- средний ресурс – не менее 10000 ч;
- среднее время восстановления прибора – не более 12 ч.

7. Масса составных частей, входящих в комплект поставки прибора, не более 0,3 кг.

**8. Режимы работы с блоком детектирования БДПС-02:**

- режим 1 – измерение мощности амбиентной дозы;
- режим 1 – измерение плотности потока;
- режим 2 – измерение амбиентной дозы;
- режим 2 – измерение флюенса;
- режим 3 – поиск;
- режим 4 – измерение скорости счета;
- режим 5 – записная книжка;
- режим 6 – сервисный.

### 9.3. Подготовка прибора к работе

1. Перед началом работы с прибором проведите зарядку аккумуляторной батареи.

2. Установите в прибор аккумуляторную батарею или подключите к внешнему источнику питания (220 В) через сетевой адаптер (СА) по схеме, представленной на рис. 9.1.

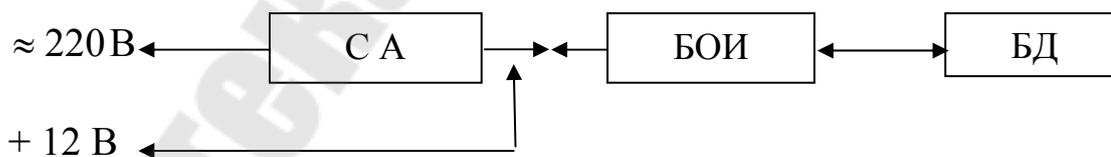


Рис. 9.1. Схема измерения: СА – сетевой адаптер; БОИ – блок обработки информации; БД – блок детектирования

3. Проверьте работу прибора в режиме самоконтроля основных узлов, нажав на кнопку «Пуск». При этом на короткое время включится звуковой сигнал, затем загорается подсветка табло и через 1 с индицируется тестовое изображение. После завершения самоконтроля на табло кратковременно индицируется обозначение

режима 1, с исчезновением которого прибор переходит в режим измерения. На табло индицируется сначала «0», единицы измерения измеряемой характеристики, значение статистической погрешности в процентах, символ  звуковой сигнализации, символ «!», мигающий в такт с циклом измерения 1 с и свидетельствующий о работе прибора.

Через 20 с начинается измерение мощности дозы или плотности потока в зависимости от подключенного блока.

При обнаружении ошибки в процессе тестирования звучит прерывистый сигнал, на табло появляется мигающее сообщение «Err xx», где «xx» код ошибки. В этом случае дальнейшая работа с прибором невозможна.

4. Проверьте переход из режима «1» в другие («2», «3», «4», «5», «6») – виды режимов описаны в параграфе 9.2.8.

Для перехода из режима «1» в другие необходимо:

– длительно нажать на кнопку «Память режим» – на табло появится индикация «2», через  $\approx 1,5$  с индикация «2» исчезнет и прибор будет работать в этом режиме;

– для перехода в следующие режимы из режима «2» следует кратковременно нажимать на кнопку «Память режим», после каждого нажатия появляется индикация 3, 4, 5, 6. Необходимо остановиться на выбранном режиме, прибор будет работать на выбранном режиме.

– для возвращения из любого режима в режим «1» следует длительно нажать на кнопку «Память режим». После появления индикации режим «1» отпустить кнопку.

5. Для переключения режимов измерения необходимо установить режим «6». После появления индикации установленного режима следует при подключенном блоке детектирования установить кнопками « / ▲» или «☀ / ▼» необходимый режим измерения и нажав длительно на кнопку «Память режим» перейти в режим «1».

Для БДПС – 02 признаком режима измерения является индикация:

«Sv» – измерение мощности амбиентной дозы;

« $\text{min}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ » – измерение плотности потока альфа, бета излучения;

« $S^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ » – измерение плотности потока нейтронного излучения.

6. Выключение прибора производится быстрым трехкратным нажатием на кнопку «Пуск». На табло появится сообщение «OFF», через 1–2 с прибор выключится.

## 9.4. Проведение измерений и обработка результатов

### 9.4.1. Измерение мощности амбиентной дозы гамма-излучения с блоком детектирования БДПС-02

1. Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М осуществляет измерение амбиентной дозы (МД) с блоком детектирования и одновременно производит измерение мощности дозы встроенным с БОИ устройством детектирования. Измерение мощности дозы БОИ происходит всегда, независимо от подключенного блока детектирования, для контроля мощности дозы гамма-излучения возле оператора. В зависимости от того, как информация БОИ и БД выводится на табло, на передней панели БОИ появляется индикация зеленого цвета «БОИ» или «БД». При превышении установленного порогового уровня возле оператора на поле БОИ появляется индикация красного цвета.

2. Проведите измерения мощности амбиентной дозы гамма-излучения с блоком детектирования БДПС-02 в следующей последовательности:

- соберите схему измерения (рис. 9.1);
- на блок детектирования наденьте выравнивающий фильтр, взяв его из комплекта прибора;
- включите прибор кнопкой «Пуск» и установите режим измерения МД в соответствии с параграфом 9.3.1 (п. 4, 5). На табло появится индикация « $\gamma$ ». После прохождения самоконтроля на табло индицируется текущее значение МД без вычитания фона, единицы измерения МД и статическая погрешность (от 90 до 1 %). При включении прибор всегда устанавливается в режим без вычитания фона.

3. Проведите 3–5 измерений МД, каждый раз кратковременно нажимая на кнопку «Пуск» ( $\tilde{X}_{\gamma+\phi}$ ), определите среднее значение МД ( $\tilde{X}_{\gamma+\phi}^{cp}$ ). Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 9.1.

4. Проведите измерения фонового значения гамма-излучения ( $\tilde{X}_{\phi}$ ), для чего:

- нажмите длительно (1,5 с) на кнопку «Пуск». При этом измерение остановится и на табло перед значащими цифрами появится индикация «■», запишите значения фона;
- нажмите кратковременно на кнопку «Память режим» для запоминания фона.

5. Проведите 3–5 измерений, кратковременно нажимая на кнопку «Пуск». Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 9.3.

6. Рассчитайте значение МД по формуле (9.17), заполните табл. 9.3.

$$\tilde{X}_\gamma = \tilde{X}_{\gamma+\phi}^{\text{cp}} - \tilde{X}_\phi. \quad (9.17)$$

#### 9.4.2. Измерение амбиентной дозы гамма-излучения

1. В процессе измерения мощности амбиентной дозы автоматически измеряется и доза. Поэтому при переходе в режим измерения дозы на табло индицируется результат этого измерения.

Для перехода к измерению дозы необходимо установить режим «2» в соответствии с параграфом 9.3 (п. 4, 5), при этом появится индикация набранной дозы и ее единицы измерения (мкЗв). При нажатии кнопки «Пуск» значение дозы сбрасывается и начинается новый набор.

2. Проведите 3–5 раз измерения амбиентной дозы, определите среднее значение. Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 9.3.

Таблица 9.3

**Результаты измерений мощности амбиентной дозы (МД) и дозы (Д) гамма-излучения дозиметром-радиометром МКС-АТ1117М**

№ п/п	Измеренное значение МД без вычитания фона $\tilde{X}_{\gamma+\phi}$ , мкЗв/ч	Среднее значение МД без вычитания фона $\tilde{X}_{\gamma+\phi}^{\text{cp}}$ , мкЗв/ч	Измеренное фоновое значение МД $\tilde{X}_\phi$ , мкЗв/ч	Среднее значение фона МД $\tilde{X}_\phi^{\text{cp}}$ , мкЗв/ч	Измеренное значение амбиентной дозы $X_\gamma$ , мкЗв	Среднее значение амбиентной дозы $X_\gamma^{\text{cp}}$ , мкЗв
1						
2						
3						
4						
5						

3. Измерение дозы так же, как и измерение МД, проводится как с учетом фона, так и с автоматическим вычитанием фона. Если при измерении МД был установлен режим без вычитания фона, то и в режиме дозы он остается.

### **9.4.3. Измерение плотности потока и флюенса бета-излучения с БДПС-02**

**Внимание:** измерение плотности потока альфа- и бета-излучения необходимо проводить только с вычитанием фона.

1. Проведите измерения с вычитанием фона, для чего:  
– подключите БДПС-02 с БОИ в соответствии с рис. 9.1;  
– установите необходимый режим измерения согласно параграфу 9.3 (п. 4, 5);

– включите прибор кнопкой «Пуск». При включении прибора на табло индицируется значение измеряемого фона, единица измерения плотности потока ( $\text{min}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ ) и значение статистической погрешности (5 %, 10 %, 20 %, 50 % – по указанию руководителя работ);

– повторить результаты измерения кратковременным нажатием кнопки «Пуск» (начинается новый цикл измерения). При достижении необходимой статистической погрешности завершить набор фона и запомните его как указано в параграфе 9.4 (п. 4).

2. Проведите измерения плотности потока бета-излучения в следующей последовательности:

– БДПС-02 с закрытой крышкой-фильтром установить на обследуемую поверхность и измерить два раза фон в соответствии с п. 1;

– снять крышку-фильтр и установить альфа-фильтр из комплекта поставки;

– установить БДПС-02 на исследуемую поверхность;

– нажать кратковременно кнопку «Пуск», после чего начнется измерение плотности потока бета-частиц;

– после достижения необходимой статистической погрешности (одинаковой с измерением фона) снять с табло результат измерения плотности потока бета-частиц.

3. Проведите повторные измерения по вышеуказанной последовательности (п. 2), результаты измерения занесите в табл. 9.4.

4. Оцените результаты измерений, сравнив с требованиями табл. 9.6 (приложение 18 к НРБ – 2000).

5. Проведите измерения флюенса бета-частиц, для чего:

– установите режим «2» в соответствии с параграфом 9.3 (п. 4, 5), при этом появляется индикация и его единица измерения ( $\text{см}^{-2}$ );

– нажмите кнопку «Пуск», значение флюенса сбрасывается и начинается новый набор;

– повторите измерения флюенса, результаты измерений занесите в табл. 9.4.

**Результаты измерения плотности потока и флюенса бета-частиц  
с обследуемой поверхности для статической погрешности 10 %  
и времени измерения  $t = 10$  мин**

Обследуемая поверхность	№ п/п	Плотность потока $\beta$ -частиц $\varphi_H^\beta$ , (мин <sup>-1</sup> ·см <sup>-2</sup> )	Флюенс $\beta$ -частиц $\varphi_\beta$ , (см <sup>-2</sup> )	Норма по НРБ-2000 (табл. 18), $\varphi_H^\beta$ , (мин <sup>-1</sup> ·см <sup>-2</sup> )	Заключение в соответствии с требованиями НРБ-2000

**9.4.4. Измерение плотности потока и флюенса  
альфа-излучения с БДПС-02**

1. Выполните работы по параграфу 9.4.3 (п. 1).
2. Проведите измерения плотности потока альфа-частиц в следующей последовательности:
  - собрать схему измерения, рис. 9.1. В режиме «б» установить режим измерения плотности потока альфа-излучения (п. 4, 5 параграфа 9.3.1). На табло появится индикация «а»;
  - снять с БДПС-02 крышку-фильтр и установить альфа-фильтр (из комплекта поставки), закрепив его держателем альфа-фильтра;
  - установить БДПС-02 на обследуемую поверхность и измерить фон в соответствии с параграфом 9.4.3 (п. 1).
 Необходимая продолжительность измерения определяется из табл. 9.10–9.12;
  - снять альфа-фильтр;
  - установить входное окно БДПС-02 вплотную к проверяемой поверхности, нажать кнопку «Пуск» и измерить плотность потока альфа-частиц с автоматическим вычитанием фона. При достижении необходимой статистической погрешности (5, 10, 20, 50 % – по указанию руководителя работ) снять с табло результат измерения плотности потока  $\varphi_H$  (мин<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>).
3. Проведите повторные измерения по вышеуказанной последовательности. Результаты измерений занесите в табл. 9.5.
4. Оцените результаты измерений, сравнив с требованиями табл. 9.6 (приложение 18 к НРБ – 2000).
5. Проведите измерения флюенса альфа-частиц, для чего:
  - установите режим «2» в соответствии с параграфом 9.3 (п. 4, 5), появится индикация флюенса и его единицы измерения «см<sup>-2</sup>»;

- нажмите кнопку «Пуск», показания прибора сбрасываются, начинается измерение флюенса;
- повторите измерения флюенса, результаты измерений занесите в табл. 9.5.

Таблица 9.5

**Результаты измерения плотности потока и флюенса альфа-частиц с обследуемой поверхностью для статистической погрешности 10 % и времени измерения  $t = 10$  мин**

Обследуемая поверхность	№ п/п	Плотность потока $\alpha$ -частиц $\varphi_H^\alpha$ , (мин <sup>-1</sup> · см <sup>-2</sup> )	флюенс $\alpha$ -частиц $\varphi_\alpha$ , (см <sup>-2</sup> )	Норма по НРБ – 2000 (табл. 18), $\varphi_H^\alpha$ (мин <sup>-1</sup> · см <sup>-2</sup> )	Заключение в соответствии требованиям НРБ–2000

Таблица 9.6

**Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты, част/см<sup>2</sup> · мин**

Объект загрязнения	$\alpha$ -активные нуклиды		$\beta$ -активные нуклиды
	отдельные	прочие	
Неповрежденная кожа, спецбелье, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты	2	2	200
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, наружная поверхность спецобуви	5	20	2000
Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и находящегося и них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	10000
Наружная поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, снимаемой в саншлюзах	50	200	10000

*Примечание.* Приложение 18 к нормам радиационной безопасности (НРБ–2000).

Таблица 9.7

**Зависимость нижнего предела измерения плотности потока бета-частиц  
от времени измерения плотности потока и времени  
измерения фона для БДПС-02**

$t_{\phi}$ , мин	Плотность потока $\phi_H$ , мин <sup>-1</sup> · см <sup>-2</sup> , для статистической погрешности $\pm 5\%$								
	Время измерения $\phi_H$ , мин								
	1	2	3	5	8	10	15	20	30
1	114	63,4	47,5	35,7	29,6	27,6	25,2	24,0	22,9
2	112	60,4	43,7	31,0	24,3	22,2	19,5	18,2	17,0
3	112	59,3	42,3	29,1	22,2	19,9	17,1	15,7	14,4
5	111	58,4	41,1	27,5	20,2	17,8	14,8	13,3	11,9
8	111	57,9	40,4	26,6	19,0	16,5	13,3	11,7	10,2
10	111	57,8	40,2	26,2	18,5	16,0	12,7	11,1	9,5
15	111	57,5	39,8	25,8	17,9	15,3	11,9	10,2	8,5
20	111	57,4	39,7	25,5	17,6	14,9	11,5	9,7	8,0
30	111	57,3	39,5	25,3	17,2	14,6	11,0	9,2	7,4
45	111	57,2	39,4	25,1	17,0	14,3	10,7	8,8	7,0
60	111	57,2	39,4	25,0	16,9	14,2	10,5	8,6	6,7
90	111	57,1	39,3	24,9	16,8	14,0	10,3	8,4	6,5

*Примечание.*  $\phi_H$  – нижний предел измерения плотности потока бета-частиц;  
 $t_{\phi}$  – время измерения фона.

Таблица 9.8

**Зависимость нижнего предела измерения плотности потока бета-частиц  
от времени измерения плотности потока и времени  
измерения фона для БДПС-02**

$t_{\phi}$ , мин	Плотность потока $\phi_H$ , мин <sup>-1</sup> · см <sup>-2</sup> , для статистической погрешности $\pm 10\%$								
	Время измерения $\phi_H$ , мин								
	1	2	3	5	8	10	15	20	30
1	33	21,0	17,2	14,3	12,7	12,2	11,6	11,3	11,0
2	32	19,0	14,9	11,7	10,0	9,4	8,7	8,4	8,0
3	31	18,2	14,0	10,7	8,9	8,3	7,5	7,1	6,7
5	31	17,6	13,2	9,7	7,8	7,1	6,3	5,9	5,5
8	31	17,2	12,7	9,1	7,1	6,4	5,5	5,0	4,6
10	31	17,1	12,6	8,9	6,8	6,1	5,2	4,7	4,2
15	30	16,9	12,3	8,6	6,5	5,8	4,8	4,3	3,7
20	30	16,8	12,2	8,5	6,3	5,5	4,5	4,0	3,5
30	30	16,7	12,1	8,3	6,1	5,3	4,3	3,7	3,1
45	30	16,7	12,0	8,2	6,0	5,2	4,1	3,5	2,9
60	30	16,6	12,0	8,2	5,9	5,1	4,0	3,4	2,8
90	30	16,6	12,0	8,1	5,8	5,0	3,9	3,3	2,7

*Примечание.*  $\phi_H$  – нижний предел измерения плотности потока бета-частиц;  
 $t_{\phi}$  – время измерения фона.

Таблица 9.9

**Зависимость нижнего предела измерения плотности потока бета-частиц  
от времени измерения плотности потока и времени  
измерения фона для БДПС-02**

$t_{\phi}$ , мин	Плотность потока $\phi_H$ , мин <sup>-1</sup> · см <sup>-2</sup> , для статистической погрешности $\pm 20\%$								
	Время измерения $\phi_H$ , мин								
	1	2	3	5	8	10	15	20	30
1	11	8,2	7,2	6,4	5,9	5,8	5,6	5,5	5,4
2	10	7,1	6,0	5,0	4,5	4,3	4,1	4,0	3,9
3	10	6,7	5,5	4,5	3,9	3,7	3,5	3,4	3,2
5	10	6,3	5,0	4,0	3,4	3,2	2,9	2,8	2,6
8	10	6,1	4,8	3,7	3,0	2,8	2,5	2,3	2,2
10	10	6,0	4,7	3,6	2,9	2,7	2,3	2,2	2,0
15	10	5,9	4,6	3,4	2,7	2,5	2,1	1,9	1,7
20	10	5,8	4,5	3,3	2,6	2,4	2,0	1,8	1,6
30	10	5,8	4,4	3,2	2,5	2,2	1,9	1,7	1,4
45	10	5,8	4,4	3,2	2,4	2,2	1,8	1,6	1,3
60	10	5,7	4,4	3,2	2,4	2,1	1,7	1,5	1,3
90	10	5,7	4,3	3,1	2,4	2,1	1,7	1,5	1,2

*Примечание.*  $\phi_H$  – нижний предел измерения плотности потока бета-частиц;  
 $t_{\phi}$  – время измерения фона.

Таблица 9.10

**Зависимость нижнего предела измерения плотности потока  
альфа-частиц от времени измерения плотности  
потока и времени измерения фона для БДПС-02**

$t_{\phi}$ , мин	Плотность потока $\phi_H$ , мин <sup>-1</sup> · см <sup>-2</sup> , для статистической погрешности $\pm 5\%$								
	Время измерения $\phi_H$ , мин								
	1	2	3	5	8	10	15	20	30
1	1867	1011,9	741,7	539,9	436,2	403,8	362,6	342,9	323,9
2	1845	974,1	692,4	477,2	364,5	329,1	284,0	262,6	242,1
3	1838	960,8	674,6	453,2	335,5	298,3	250,8	228,2	206,5
5	1832	950,0	659,7	432,3	309,4	270,0	219,4	195,2	171,9
8	1829	943,8	651,0	419,8	293,0	251,9	198,6	172,9	148,0
10	1828	941,7	648,1	415,5	287,2	245,4	190,9	164,5	138,9
15	1826	939,0	644,1	409,6	279,2	236,3	180,0	152,4	125,4
20	1825	937,6	642,1	406,6	275,0	231,5	174,1	145,8	117,9
30	1825	936,2	640,1	403,5	270,7	226,6	167,9	138,7	109,7
45	1824	935,2	638,8	401,5	267,8	223,2	163,6	133,7	103,7
60	1824	934,7	638,1	400,4	266,3	221,5	161,4	131,1	100,5
90	1824	934,3	637,4	399,4	264,9	219,7	159,1	128,4	97,2

*Примечание.*  $\phi_H$  – нижний предел измерения плотности потока бета-частиц;  
 $t_{\phi}$  – время измерения фона.

Таблица 9.11

**Зависимость нижнего предела измерения плотности потока  
альфа-частиц от времени измерения плотности  
потока и времени измерения фона для БДПС-02**

$t_{\phi}$ , мин	Плотность потока $\phi_H$ , $\text{мин}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ , для статистической погрешности $\pm 10\%$								
	Время измерения $\phi_H$ , мин								
	1	2	3	5	8	10	15	20	30
1	524	319,6	256,1	208,3	183,0	174,9	164,3	159,1	154,0
2	506	293,0	225,0	172,9	145,0	136,0	124,2	118,5	112,8
3	500	283,2	213,0	158,6	129,2	119,6	107,1	101,0	94,9
5	495	275,0	202,7	145,8	114,5	104,2	90,6	84,0	77,4
8	492	270,2	196,5	137,8	105,0	94,1	79,6	72,4	65,2
10	491	268,6	194,4	135,0	101,5	90,4	75,4	68,0	60,5
15	490	266,3	191,5	131,1	96,7	85,1	69,4	61,5	53,5
20	489	265,2	190,0	129,1	94,1	82,3	66,2	58,0	49,6
30	488	264,1	188,5	127,0	91,5	79,3	62,7	54,1	45,3
45	488	263,4	187,5	125,6	89,6	77,3	60,2	51,4	42,2
60	488	263,0	187,0	124,9	88,7	76,2	58,9	49,9	40,5
90	487	262,6	186,5	124,2	87,7	75,1	57,6	48,4	38,7

*Примечание.*  $\phi_H$  – нижний предел измерения плотности потока бета-частиц;  
 $t_{\phi}$  – время измерения фона.

Таблица 9.12

**Зависимость нижнего предела измерения плотности потока  
альфа-частиц от времени измерения плотности  
потока и времени измерения фона для БДПС-02**

$t_{\phi}$ , мин	Плотность потока $\phi_H$ , $\text{мин}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ , для статистической погрешности $\pm 20\%$								
	Время измерения $\phi_H$ , мин								
	1	2	3	5	8	10	15	20	30
1	172	120,2	103,7	90,8	83,6	81,3	78,2	76,6	75,1
2	160	105,0	86,8	72,4	64,3	61,6	58,0	56,3	54,5
3	156	99,1	80,2	64,9	56,2	53,3	49,4	47,4	45,5
5	152	94,1	74,3	58,0	48,6	45,4	41,1	38,9	36,7
8	150	91,1	70,7	53,6	43,6	40,2	35,4	33,0	30,6
10	149	90,1	69,4	52,1	41,8	38,2	33,3	30,8	28,2
15	148	88,7	67,7	49,9	39,2	35,5	30,3	27,5	24,7
20	148	88,0	66,8	48,8	37,9	34,0	28,6	25,7	22,7
30	147	87,3	65,9	47,6	36,4	32,4	26,8	23,7	20,5
45	147	86,8	65,3	46,8	35,4	31,3	25,5	22,3	18,9
60	147	86,5	65,0	46,4	34,9	30,8	24,8	21,6	18,1
90	147	86,3	64,7	46,0	34,4	30,2	24,1	20,8	17,1

*Примечание.*  $\phi_H$  – нижний предел измерения плотности потока бета-частиц;  
 $t_{\phi}$  – время измерения фона.

## 9.5. Контрольные вопросы

1. Назначение и технические характеристики дозиметра-радиометра МКС-АТ 1117М.
2. Определение и единицы измерения плотности потока и флюенса ионизирующих частиц.
3. Доза ионизирующих излучений, краткая характеристика.
4. Основные понятия относящихся к термину «доза» по НРБ-2000.
5. Понятие амбиентной дозы.
6. Понятие «Керма», краткая характеристика.
7. В чем отличие эквивалентной дозы от эффективной?
8. В чем отличие взвешивающих коэффициентов эквивалентной и эффективной доз излучения?

## 9.6. Литература

1. Постник, М. И. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях : учебник / М. И. Постник. – Минск : Выш. шк., 2003. – 398 с.
2. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : учеб. пособие / С. В. Дорожко [и др.]. – Минск : Дикта, 2006. – Ч. 3 : Радиационная безопасность. – 308 с.
3. Маргулис, У. Я. Атомная энергия и радиационная безопасность / У. Я. Маргулис. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.
4. Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М. Руководство по эксплуатации.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Лабораторная работа № 8. Измерение и оценка мощности эквивалентной дозы, плотности потока бета-излучения, суммарной удельной активности радионуклидов в водных растворах с помощью комбинированного прибора РКС-107.....</i>	<i>3</i>
<i>Лабораторная работа № 9. Определение основных параметров ионизирующих излучений с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М .....</i>	<i>15</i>

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Крючек Николай Семенович  
Морозова Ольга Юрьевна  
Кидун Наталья Михайловна**

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

**Лабораторный практикум  
по одноименному курсу  
для студентов всех специальностей  
дневной формы обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

Редактор *А. Д. Федорова*  
Компьютерная верстка *Е. Б. Яцук*

Подписано в печать 28.02.12.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Ризография. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,24.

Изд. № 96.

E-mail: [ic@gstu.by](mailto:ic@gstu.by)

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Издательский центр Учреждения образования  
«Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.  
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48