

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»**

Кафедра физики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ

для самостоятельной работы студентов по теме

«ДОЗИМЕТРИЯ И ОСЛАБЛЕНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ»

(модуль 2)

по дисциплине

«СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ РАДИОЛОГИЯ»

для студентов специальности

1- 74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство»

дневной формы обучения

Брест 2008

УДК 614. 876 (075.8)

Методические указания предназначены для использования студентами специальности 1- 74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство» дневной формы обучения при изучении дисциплины «Сельскохозяйственная радиология». Содержат теоретические сведения, задания для самостоятельной работы, методику вычислений, рекомендуемую литературу. Методические указания могут использоваться при выполнении расчетных лабораторных работ, а также для самостоятельной работы студентов.

Составители: Т.Л. Кушнер, к.ф.-м.н., доцент
Л.Н. Яромская, ассистент

Рецензент: Котловский О.А., зам. декана физического факультета
УО «Брестский государственный университет» им. А.С. Пушкина,
канд. пед. наук, доцент

Введение

Радиоактивные изотопы как источники ионизирующих излучений имеют большое значение в сельскохозяйственном производстве. Например, предпосевное облучение семян ускоряет их прорастание, стимулирует развитие растений, изменяет их биохимический состав, повышает урожайность сельскохозяйственных культур.

С помощью ионизирующего излучения консервируют и обеззараживают корма. С целью снижения общего числа микроорганизмов, увеличения сроков хранения продуктов питания и кормов применяют «холодную» стерилизацию (облучение гамма-квантами).

Радиоактивные индикаторы $^{60}_{27}\text{Co}$, $^{137}_{55}\text{Cs}$ и другие используются для контроля заполненности различных резервуаров жидкостями, сыпучими материалами (емкостей с горючим, элеваторных башен и т.д.), проверки качества сварных швов на продуктопроводах (нефти, мазута и т.д.).

Во всех вышеперечисленных случаях необходимо строго соблюдать меры защиты персонала, работающего с радиоактивными источниками, от облучения, превышающего нормируемые пределы.

Задание 1

На поверхность защитного слоя падает перпендикулярно параллельный пучок γ -квантов с энергией E_{γ} . После прохождения данного слоя интенсивность излучения уменьшается в n раз. Выбрав из таблицы исходных данных 1.1 значения E_{γ} и n , выполните следующие задания:

1.1. Определите толщину защитного слоя d , слой половинного ослабления $\Delta_{1/2}$ и массовый коэффициент ослабления вещества μ_m для гамма-квантов заданной энергии.

1.2. Рассчитайте расход материала для изготовления пластины, с заданной формой сечения и толщиной d , которая обеспечивала бы требуемое ослабление.

Таблица 1.1 – Исходные данные

№ вар-та	Наименование материала	E_{γ} , МэВ	n	Форма сечения	R , м или a , м
0	Оксид бериллия	1	3	пр-к $a=0,5$; $b=0,7$ м	
1	Висмут	3	4	круг	0,51
2	Карбид бора	6	5	квадрат	0,52
3	Кирпич огнеупорный	1	6	круг	0,53
4	Кирпич силикатный	3	7	квадрат	0,54
5	Глина	6	8	круг	0,55
6	Цемент	1	9	квадрат	0,56
7	Бетон баритовый	3	3	круг	0,57
8	Стекло свинцовое	6	4	квадрат	0,58
9	Парафин	1	5	круг	0,59
10	Каучук	3	6	квадрат	0,60
11	Дуб	6	7	круг	0,61
12	Сосна	1	8	квадрат	0,62
13	Известняк	3	9	круг	0,63
14	Сталь	6	3	квадрат	0,64

№ вар-та	Наименование материала	E_{γ} , МэВ	n	Форма сечения	R , м или a , м
15	Графит	1	4	круг	0,65
16	Гранит	3	5	квадрат	0,66
17	Песок	6	6	круг	0,67
18	Висмут	1	7	квадрат	0,68
19	Карбид бора	3	8	круг	0,69
20	Кирпич силикатный	6	9	квадрат	0,70
21	Стекло свинцовое	1	3	круг	0,71
22	Сталь	3	4	квадрат	0,72
23	Бетон баритовый	6	5	круг	0,73
24	Известняк	1	6	квадрат	0,74
25	Кирпич огнеупорный	3	7	круг	0,75
26	Висмут	6	8	квадрат	0,76
27	Бетон портланд	1	9	круг	0,77
28	Парафин	3	3	квадрат	0,78
29	Каучук	6	4	круг	0,79
30	Сталь	1	5	квадрат	0,80
31	Карбид бора	1	6	круг	0,81
32	Каучук	1	7	квадрат	0,82
33	Стекло свинцовое	3	8	круг	0,83
34	Бетон баритовый	1	9	квадрат	0,84
35	Кирпич огнеупорный	6	3	круг	0,85

Таблица 1.2 – Линеиный коэффициент ослабления μ (см^{-1}) для гамма-излучения

Наименование материала	ρ , г/см ³	E_{γ} , МэВ		
		1	3	6
Оксид бериллия	2,3	0,140	0,079	0,055
Висмут	9,8	0,700	0,409	0,440
Карбид бора	2,5	0,150	0,083	0,068
Кирпич огнеупорный	2,1	0,129	0,074	0,054
Кирпич силикатный	1,8	0,113	0,065	0,047
Графит	2,3	0,143	0,080	0,059
Глина	2,2	0,130	0,080	0,059
Цемент	2,1	0,133	0,076	0,056
Бетон баритовый	3,5	0,213	0,127	0,110
Бетон портланд	2,4	0,154	0,088	0,065
Стекло свинцовое	6,4	0,439	0,257	0,257
Парафин	0,9	0,646	0,036	0,025
Каучук	1,1	0,066	0,037	0,025
Дуб	0,8	0,052	0,029	0,020
Сосна	0,7	0,045	0,025	0,018
Гранит	2,5	0,155	0,089	0,065
Известняк	2,9	0,187	0,109	0,082
Песок	2,2	0,140	0,083	0,058
Сталь	7,8	0,462	0,279	0,236

Теоретические сведения

В результате взаимодействия γ -излучения с электронами и ядрами вещества, через которое излучение проходит, его интенсивность уменьшается по закону:

$$I_d = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}, \quad (1.1)$$

где I_d – интенсивность излучения после прохождения слоя поглощающего вещества толщиной d ;
 I_0 – интенсивность излучения, падающего на защитный слой;
 μ – линейный коэффициент ослабления.

Формула (1.1) справедлива только для узкого пучка лучей, падающего перпендикулярно на поверхность защитного слоя.

Линейный коэффициент ослабления μ зависит от энергии излучения и некоторых свойств поглощающего материала (плотность, структура и др.). Массовый коэффициент ослабления μ_m связан с линейным следующим соотношением:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}. \quad (1.2)$$

Здесь $[\mu_m] = \frac{\text{см}^2}{\text{г}}$, если $[\mu] = \text{см}^{-1}$ и $[\rho] = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Толщину слоя вещества, которая уменьшает интенсивность излучения в два раза, называют **слоем половинного ослабления** $\Delta_{1/2}$. Слой половинного ослабления связан с линейным коэффициентом μ формулой:

$$\Delta_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}. \quad (1.3)$$

Единицей измерения $\Delta_{1/2}$ в системе СИ является м⁻¹.

Масса требуемого материала зависит от его плотности ρ и объема V :

$$m = \rho \cdot V, \quad (1.4)$$

В свою очередь объем определяется формулой:

$$V = S \cdot d, \quad (1.5)$$

где S – площадь сечения;
 d – толщина защиты.

Пример решения (вариант 0)

1. Из таблицы 1.2 находим для заданного материала линейный коэффициент ослабления μ с учетом энергии излучения. Для оксида бериллия $\mu = 0,140 \text{ см}^{-1}$ при условии, что энергия падающего гамма-излучения $E_\gamma = 1 \text{ МэВ}$.

Из закона ослабления для параллельного пучка гамма-лучей (1.1), находим толщину защитного слоя d , уменьшающего интенсивность излучения в 3 раза.

$$\frac{I_0}{3} = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}.$$

Следовательно

$$\frac{1}{3} = e^{-\mu d}$$

Тогда $\ln 3 = \mu d$, и $d = \ln 3 / \mu = 7,85 \text{ см} \approx 0,08 \text{ м}$.

Слой половинного ослабления находим из равенства (1.3):

$$\Delta_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,140} = \frac{0,693}{0,140} = 4,95 \text{ см} \approx 0,05 \text{ м}.$$

Из выражения (1.2) находим массовый коэффициент ослабления μ_m для оксида бериллия

$$\mu_m = \frac{0,140}{2,3} = 0,061 \frac{\text{см}^2}{\text{г}} = 6,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}.$$

2. Рассчитаем объем V защитной пластины по формуле (1.5) с учетом заданных размеров. В нашем случае, форма сечения – прямоугольник, со сторонами a и b :

$$V = a \cdot b \cdot d = 0,5 \cdot 0,7 \cdot 0,08 \approx 0,028 \text{ м}^3.$$

Для определения массы требуемого материала выразим плотность ρ оксида бериллия в системе СИ ($\text{кг}/\text{м}^3$) и воспользуемся выражением (1.4). Тогда:

$$m = 2300 \cdot 0,028 \approx 64,4 \text{ кг}.$$

Основные выводы

Интенсивность γ -излучения при прохождении через слой вещества уменьшается по экспоненциальному закону. Основными характеристиками вещества с точки зрения защиты от излучения являются линейный и массовый коэффициенты ослабления, а также слой половинного ослабления.

Задание 2

Источник активностью A , содержащий радиоизотоп ${}^A_Z Y$ испускает γ -излучение с энергией E_γ . Рабочее место человека расположено на расстоянии R от источника. Выбрав из таблицы исходных данных 2.1 изотоп ${}^A_Z Y$, значения R и A , выполните следующие задания:

2.1. Определите массу m радиоактивного элемента ${}^A_Z Y$, содержащегося в источнике активностью A .

2.2. Требуется ли создание защиты для источника, если уровень радиационного фона на рабочем месте не должен превышать $P_{\text{пред}} = \dot{X} = 20 \text{ мкР/ч}$.

2.3. Если защита требуется, рассчитайте кратность ослабления $K_{\text{осл}}$ и толщину материала d , который предлагается для экранирования радиоактивного источника.

2.4. Определите величину D поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе за время t на рабочем месте.

Таблица 2.1 – Исходные данные

№ вар-та	Изотоп ${}^A_Z Y$	$T_{1/2}$	A, кБк	Материал	R, см	t, ч
0	${}^7_4 Be$	53,3 сут	400	железо	10	10
1	${}^{22}_{11} Na$	2,6 года	225	свинец	20	11
2	${}^{47}_{20} Ca$	4,55 сут	730	бетон	35	12
3	${}^{46}_{21} Sc$	83,8 сут	900	железо	30	13
4	${}^{44}_{22} Ti$	47,3 года	970	бетон	15	14
5	${}^{48}_{23} V$	15,97 сут	480	свинец	10	15
6	${}^{51}_{24} Cr$	27,73 сут	1400	бетон	15	16
7	${}^{52}_{25} Mn$	5,67 сут	300	свинец	17	17
8	${}^{54}_{25} Mn$	312,3 сут	760	бетон	22	18
9	${}^{59}_{26} Fe$	45,1 сут	770	железо	20	19
10	${}^{60}_{27} Co$	5,27 года	700	железо	36	1,5
11	${}^{58}_{27} Co$	70,78 года	600	свинец	30	2,5
12	${}^{56}_{28} Ni$	6,1 сут	800	бетон	25	3,5
13	${}^{65}_{30} Zn$	244,1 сут	650	бетон	23	4,5
14	${}^{74}_{33} As$	17,78 сут	1150	железо	24	5,5
15	${}^{75}_{34} Se$	118,45 сут	1400	свинец	16	6,5
16	${}^{86}_{37} Rb$	18,66 сут	1100	бетон	10	7,5
17	${}^{95}_{41} Nb$	34,9 сут	500	железо	27	8,5
18	${}^{103}_{44} Ru$	39,35 сут	920	свинец	13	9,5
19	${}^{110}_{47} Ag$	250,4 сут	860	железо	25	10,5
20	${}^{124}_{51} Sb$	60,2 сут	1700	бетон	18	2
21	${}^{134}_{55} Cs$	2,06 года	1300	свинец	10	3
22	${}^{137}_{55} Cs$	30,17 года	450	железо	14	4
23	${}^{141}_{58} Ce$	32,5 сут	1500	бетон	22	5
24	${}^{181}_{72} Hf$	42,4 сут	1200	свинец	23	6
25	${}^{181}_{74} W$	120,9 сут	1300	железо	10	7
26	${}^{192}_{77} Ir$	74,0 сут	880	бетон	12	8
27	${}^{199}_{79} Au$	3,13 сут	1300	железо	10	9
28	${}^{203}_{80} Hg$	46,7 сут	950	свинец	18	10,5

№ вар-та	Изотоп ${}^A_Z Y$	$T_{1/2}$	A, кБк	Материал	R, см	t, ч
29	${}^{202}_{81} Tl$	12,2 сут	700	железо	15	11,5
30	${}^{249}_{98} Cf$	351 год	1800	бетон	22	12,5
31	${}^{52}_{25} Mn$	5,67 сут	1750	бетон	58	3
32	${}^{137}_{55} Cs$	30,17 года	165	свинец	19	4,5
33	${}^{22}_{11} Na$	2,6 года	700	железо	35	7
34	${}^{65}_{30} Zn$	244,1 сут	795	свинец	20	5
35	${}^{110}_{47} Ag$	250,4 сут	990	бетон	12	8

Таблица 2.2 – Некоторые характеристики радионуклидов

Наименование радионуклида	$T_{1/2}$	Энергия γ -квантов, МэВ	K, $\mu\text{г}\cdot\text{м}^2/(\text{с}\cdot\text{Бк})$	Γ_{γ} , $\text{Р}\cdot\text{см}^2/(\text{ч}\cdot\text{мКи})$
${}^7_4 Be$	53,3 сут	0,47	1,861	0,284
${}^{22}_{11} Na$	2,6 года	1,27	42,71	6,518
${}^{47}_{20} Ca$	4,55 сут	1,29	32,49	4,958
${}^{46}_{21} Sc$	83,8 сут	1,12	38,64	5,896
${}^{44}_{22} Ti$	47,3 года	0,078	2,228	0,340
${}^{48}_{23} V$	15,97 сут	2,24	1,540	0,235
${}^{51}_{24} Cr$	27,73 сут	0,32	1,153	0,176
${}^{52}_{25} Mn$	5,67 сут	1,43	46,75	7,134
${}^{54}_{25} Mn$	312,3 сут	0,83	30,24	4,614
${}^{59}_{26} Fe$	45,1 сут	1,29	19,05	2,907
${}^{60}_{27} Co$	5,27 года	1,33	44,21	6,746
${}^{58}_{27} Co$	70,78 года	0,81	29,32	4,474
${}^{56}_{28} Ni$	6,1 сут	1,56	7,471	1,14
${}^{65}_{30} Zn$	244,1 сут	1,11	19,48	2,973
${}^{74}_{33} As$	17,78 сут	0,63	3,552	0,542
${}^{75}_{34} Se$	118,45 сут	0,40	1,795	0,274
${}^{86}_{37} Rb$	18,66 сут	1,07	3,277	0,500
${}^{95}_{41} Nb$	34,9 сут	0,99	27,97	4,269
${}^{103}_{44} Ru$	39,35 сут	0,61	1,337	0,204
${}^{110}_{47} Ag$	250,4 сут	1,50	7,025	1,072

Наименование радионуклида	$T_{1/2}$	Энергия γ -квантов, МэВ	K , $\text{аГр}\cdot\text{м}^2/(\text{с}\cdot\text{мКи})$	Γ , $\text{Р}\cdot\text{см}^2/(\text{ч}\cdot\text{мКи})$
$^{124}_{51}\text{Sb}$	60,2 сут	2,09	3,434	0,524
$^{134}_{55}\text{Cs}$	2,06 года	1,36	1,441	0,220
$^{137}_{55}\text{Cs}$	30,17 года	0,66	20,92	3,192
$^{141}_{58}\text{Ce}$	32,5 сут	0,14	2,208	0,337
$^{181}_{72}\text{Hf}$	42,4 сут	0,48	15,66	2,39
$^{181}_{74}\text{W}$	120,9 сут	0,058	1,402	0,214
$^{192}_{77}\text{Ir}$	74,0 сут	0,61	1,186	0,181
$^{199}_{79}\text{Au}$	3,13 сут	0,20	0,747	0,114
$^{203}_{80}\text{Hg}$	46,7 сут	0,27	8,172	1,247
$^{202}_{81}\text{Tl}$	12,2 сут	0,43	15,18	2,317
$^{249}_{98}\text{Cf}$	351 год	0,38	9,536	1,455

Теоретические сведения

Массу m радиоактивного элемента $^A_Z Y$ можно определить, используя следующие соотношения:

$$m = N \cdot m_{am}, \quad (2.1)$$

где N – количество атомов изотопа $^A_Z Y$;
 m_{am} – масса одного атома.

Масса атома определяется из формулы:

$$m_{am} = \frac{M}{N_A}, \quad (2.2)$$

где M – молярная масса элемента $^A_Z Y$;
 N_A – постоянная Авогадро ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$).

Количество атомов элемента $^A_Z Y$ находится из соотношения:

$$N = \frac{A}{\lambda}, \quad (2.3)$$

где A – активность;
 λ – постоянная распада.

В свою очередь, постоянная распада λ находится из выражения:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}, \quad (2.4)$$

где $T_{1/2}$ – период полураспада радионуклида $^A_Z Y$.

Таким образом, связав все вышеописанные величины, из соотношений (2.1)–(2.4), получим выражение:

$$m = \frac{M \cdot A \cdot T_{1/2}}{N_A \cdot \ln 2} \quad (2.5)$$

Масса радиоактивного элемента ${}^A_Z Y$ будет получена в килограммах, если все значения в выражении (2.5) подставлены в системе СИ.

Взаимодействие различных излучений с веществом сопровождается их проникновением на разную глубину и передачей определенного количества энергии, а также различным пространственным распределением этой энергии. Количество переданной энергии излучения единице массы вещества называют **дозой**. Рассмотрим несколько видов доз.

Экспозиционная доза (X) – это доза γ - или рентгеновского излучения, при поглощении которого в воздухе создается определенное количество пар ионов. В системе СИ единицей измерения экспозиционной дозы является Кл/кг. По определению 1 Кл/кг – это такая доза γ - или рентгеновского излучения, под воздействием которого в 1 кг воздуха возникает суммарный заряд ионов одного знака, равный 1 Кл. Внесистемной единицей экспозиционной дозы является рентген (Р), и 1 Кл/кг = 3876 Р.

Мощность экспозиционной дозы ($P_x = \dot{X}$) – величина, чаще называемая **уровнем радиационного фона** – это экспозиционная доза в единицу времени. В системе СИ мощность экспозиционной дозы измеряется в А/кг. Внесистемной единицей измерения экспозиционной дозы является Р/ч. Так как это достаточно большая величина, то чаще используют мкР/ч. Именно в таких единицах, как правило, показывают мощность экспозиционной дозы **дозиметры**. Экспозиционная доза характеризует радиационную обстановку независимо от свойств облучаемых объектов. Для определения энергии ионизирующего излучения, поглощенной конкретным веществом, используют понятие поглощенной дозы.

Поглощенная доза (D) – это величина, численно равная энергии любого вида ионизирующего излучения, поглощенной единицей массы облучаемого вещества. Поглощенную дозу измеряют в грейх (Гр). 1 Гр – это такая доза, при которой 1 килограмм вещества поглощает энергию в 1 Дж. По аналогии с мощностью экспозиционной дозы можно ввести понятие **мощности поглощенной дозы $P_D = \dot{D}$** .

Согласно определению гамма-постоянная Γ_γ равна мощности экспозиционной дозы, создаваемой γ -излучением точечного радиоактивного источника активностью $A=1$ мКи на расстоянии $R=1$ см от него. Тогда мощность экспозиционной дозы P_x можно определить по формуле:

$$P_x = \dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma_\gamma}{R^2} \quad (2.6)$$

где A – активность источника;

Γ_γ – гамма-постоянная радионуклида;

R – расстояние от источника до рабочего места.

Здесь $[P_x] = \frac{P}{\text{ч}}$, если $[A] = \text{мКи}$, $[\Gamma_\gamma] = \frac{P \cdot \text{см}^2}{\text{мКи} \cdot \text{ч}}$ и $[R] = \text{см}$.

Кратность ослабления определяется выражением:

$$K_{осл} = \frac{P_x}{P_{пред}}, \quad (2.7)$$

где P_x – мощность экспозиционной дозы на рабочем месте при отсутствии защиты;
 $P_{пред}$ – допустимое значение мощности экспозиционной дозы.

Толщина защиты d , экранирующей источник, который излучает узкий пучок γ -квантов, рассчитывается из соотношения:

$$d = \frac{\ln K_{осл}}{\mu}, \quad (2.8)$$

где $K_{осл}$ – кратность ослабления;

μ – линейный коэффициент ослабления материала.

Для широких пучков γ -излучения применяются специальные таблицы, сопоставляющие кратность ослабления и толщину экранирующего материала. Характер пучка (узкий он или широкий) определяется размером источника и расстоянием от источника до облучаемого объекта. В зависимости от размеров источника его расстояния до объекта облучения источник можно считать либо точечным, либо протяженным.

По определению керма-постоянная K равна мощности поглощенной дозы в воздухе P_D , создаваемой гамма-излучением точечного радиоактивного источника активностью $A=1$ Бк на расстоянии $R=1$ м от него. В системе СИ керма-постоянная выражается в

$$\frac{\text{Гр} \cdot \text{м}^2}{\text{с} \cdot \text{Бк}}. \quad \text{Отметим, что в таблице 2.2 керма-постоянная выражается в}$$

$$\frac{a \text{Гр} \cdot \text{м}^2}{\text{с} \cdot \text{Бк}} = \frac{10^{-18} \cdot \text{Гр} \cdot \text{м}^2}{\text{с} \cdot \text{Бк}}.$$

Тогда, мощность поглощенной дозы P_D определяется по формуле:

$$P_D = \dot{D} = \frac{A \cdot K}{R^2}, \quad (2.9)$$

где A – активность источника;

K – керма-постоянная радионуклида;

R – расстояние от источника до рабочего места.

Используя выражение (2.9) можно определить поглощенную дозу D для гамма-излучения в воздухе:

$$D_{возд} = P_D \cdot t = \frac{A \cdot K \cdot t}{R^2}. \quad (2.10)$$

Пример решения (вариант 0)

1. Из формулы (2.5) находим массу ${}^7_4\text{Be}$, содержащегося в источнике активностью A . Из таблицы исходных данных 2.1 период полураспада $T_{1/2}$ выражаем в секундах, тогда значение массы получим в килограммах. Величина M (атомная масса элемента) для бериллия $A_m = 7 \cdot 10^{-3}$ кг/моль (верхнее число символической записи, переведенное в систему СИ).

Таким образом:

$$m = \frac{7 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 533 \cdot 24 \cdot 3600}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,693} = 3,09 \cdot 10^{-14} \text{ кг.}$$

2. Рассчитаем мощность экспозиционной дозы P_x (уровень радиационного фона) по формуле (2.6). Гамма-постоянную Γ , радионуклида возьмем из таблицы 2.2. Предварительно переведем активность A , заданную в Бк, во внесистемные единицы мКи. Используем для этого следующее соотношение:

$$1 \text{ Бк} = \frac{1}{3,7 \cdot 10^{10}} \text{ Ки} = \frac{1}{3,7 \cdot 10^7} \text{ мКи}.$$

Тогда:

$$P_x = \frac{400 \cdot 10^3 \cdot 0,284}{3,7 \cdot 10^7 \cdot 10^3} = 3,07 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Р}}{\text{ч}} = 30,70 \frac{\text{мкР}}{\text{ч}}.$$

При расчетах важно соблюсти размерности всех величин, входящих в формулу (2.6), которые указаны в теоретических сведениях.

Поскольку уровень радиационного фона на рабочем месте превышает предельно допустимый, требуется создание защиты для источника.

3. Находим кратность ослабления:

$$K_{\text{осл}} = \frac{30,70}{20} \approx 1,54.$$

Поскольку экранирующим материалом предлагается выбрать железо, то из таблицы 2.3 находим коэффициент ослабления узкого пучка гамма-излучения для энергии $E_\gamma = 0,47$ МэВ $\approx 0,5$ МэВ. $\mu = 0,659$ см $^{-1}$. Тогда толщина защиты, согласно формуле (2.8):

$$d_y = \frac{\ln 1,54}{0,659} = 0,66 \text{ см}.$$

Толщину защиты d для широкого пучка γ -излучения определим из таблицы 2.4. При кратности $K_{\text{осл}} \approx 1,5$ для ослабления γ -излучения с энергией $E_\gamma = 0,47$ МэВ $\approx 0,5$ МэВ понадобится слой железа $d_w = 1,8$ см.

4. Определим величину поглощенной дозы D гамма-излучения в воздухе на рабочем месте за время t . Керма-постоянную K радионуклида возьмем из таблицы 2.2, расстояние R выразим в метрах, а время t – в секундах. Итак:

$$D_{\text{взду}} = \frac{400 \cdot 10^3 \cdot 1,861 \cdot 10 \cdot 3600}{0,1^2} = 2,68 \cdot 10^{12} \text{ аГр} = 2,68 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-18} = 2,68 \text{ мкГр}.$$

Основные выводы

Уровень радиационного фона и поглощенная доза γ -излучения в воздухе прямо пропорциональны активности источника и обратно пропорциональны расстоянию до точки, где они определяются.

Коэффициент ослабления μ зависит не только от свойств поглощающего материала, но и от энергии излучения, падающего на него.

При работе с радиоактивными источниками важно оценить величину поглощенной дозы облучения, которую получит персонал, за время работы. Полученная доза не должна превышать пределы, установленные Нормами радиационной безопасности.

Таблица 2.3 – Линеинный коэффициент ослабления μ для узкого пучка γ -излучения (см⁻¹)

Е _γ , МэВ	Бетон, ρ=2,4 г/см ³	Железо, ρ=7,8 г/см ³	Свинец, ρ=11,3 г/см ³
0,1	0,397	2,92	62,07
0,2	0,291	1,146	10,69
0,3	0,251	0,864	4,278
0,4	0,224	0,738	2,496
0,5	0,204	0,659	1,725
0,6	0,189	0,604	1,350
0,66	0,178	0,570	1,18
0,8	0,166	0,525	0,983
1,0	0,149	0,470	0,789
1,25	0,132	0,408	0,655
1,5	0,122	0,381	0,592
2,0	0,104	0,333	0,525
3,0	0,085	0,283	0,480

Таблица 2.4 – Толщина защиты для различной кратности ослабления широкого пучка γ -излучения (см)

Е _γ , МэВ	Кратность ослабления				
	1,5	2	5	8	10
	Бетон, ρ=2,4 г/см ³				
0,10	2,6	4,7	6,0	7,0	7,2
0,14	3,5	5,9	7,9	9,5	10,9
0,20	4,7	7,6	11,0	12,9	13,5
0,28	6,0	9,4	14,6	16,8	18,6
0,30	6,3	9,9	15,5	17,8	19,0
0,40	7,5	11,3	18,8	22,0	22,5
0,50	8,2	12,3	21,1	24,6	25,8
0,60	8,2	12,4	21,8	25,6	26,8
0,66	8,2	12,4	22,1	26,1	27,3
0,70	8,2	12,5	22,3	26,4	27,6
0,80	8,3	12,6	22,6	27,2	28,4
0,90	8,3	12,7	23,0	27,9	29,1
1,00	8,5	12,9	23,5	28,8	29,9

E _γ , МэВ	Кратность ослабления				
	1,5	2	5	8	10
1,25	8,6	13,3	24,6	30,5	31,9
1,50	9,7	13,6	25,8	32,2	34,0
1,75	8,7	13,8	27,0	33,8	35,9
2,00	8,8	14,1	28,8	35,2	37,6
2,20	8,9	14,3	29,4	36,4	39,0
2,75	9,2	15,0	31,8	38,8	42,0
Железо, ρ=7,8 г/см³					
0,10	0,5	0,8	1,5	1,9	2,1
0,14	0,7	0,9	1,9	2,3	2,5
0,20	1,0	1,3	2,5	3,1	3,4
0,28	1,1	1,6	3,2	4,0	4,4
0,30	1,3	1,8	3,4	4,2	4,5
0,40	1,6	2,3	4,2	5,1	5,4
0,50	1,8	2,6	4,8	5,8	6,2
0,60	1,7	2,8	5,3	6,4	6,8
0,66	1,8	2,8	5,3	6,5	7,1
0,70	2,1	3,0	5,7	6,9	7,3
0,80	2,2	3,2	6,0	7,4	7,8
0,90	2,3	3,3	6,3	7,7	8,2
1,00	2,3	3,4	6,5	8,0	8,5
1,25	2,3	3,6	6,9	8,7	9,3
1,50	2,3	3,8	7,3	9,2	10,0
1,75	2,4	3,9	7,7	9,7	10,5
2,00	2,5	4,0	8,1	10,1	11,0
2,20	2,5	4,0	8,4	10,4	11,3
2,75	2,6	4,3	8,7	10,9	11,9
Свинец, ρ=11,3 г/см³					
0,10	0,05	0,1	0,2	0,2	0,3
0,14	0,07	0,14	0,3	0,3	0,4
0,20	0,1	0,2	0,4	0,5	0,55
0,28	0,14	0,28	0,56	0,64	0,8
0,30	0,15	0,3	0,6	0,8	0,9
0,40	0,2	0,4	0,9	1,1	1,3
0,50	0,2	0,5	1,1	1,5	1,6
0,60	0,3	0,7	1,5	1,95	2,1
0,66	0,36	0,76	1,74	2,2	2,4
0,70	0,4	0,8	1,9	2,35	2,6
0,80	0,6	1,0	2,2	2,8	3,05
0,90	0,7	1,15	2,5	3,2	3,5
1,00	0,8	1,3	2,8	3,8	3,8
1,25	0,95	1,5	3,4	4,5	4,5
1,50	1,1	1,7	3,8	5,1	5,1
1,75	1,2	1,85	4,1	5,6	5,6
2,00	1,2	2,0	4,3	5,9	5,9
2,20	1,2	2,0	4,4	6,1	6,1

Литература

1. Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. Основы сельскохозяйственной радиологии. – М.: Агропромиздат, 1991.
2. Курс радиационной безопасности: учебное пособие для сельскохозяйственных вузов / В.Т. Ветрова и др. / под общ. ред. В.Т. Ветровой. – Минск: Ураджай, 1995.
3. Гришин А.С., Новиков В.Н. Экологическая безопасность. Защита территории и населения в чрезвычайных ситуациях. – М.: Фаир-Пресс, 2000.
4. Русаков К.И., Ракович Ю.П., Кушнер Т.Л. «Радиационная безопасность»: конспект лекций и лабораторный практикум: пособие для студентов БрГТУ. – Брест: изд-во БрГТУ, 2005.
5. Нормы радиационной безопасности НРБ–2000. Республиканский центр гигиены и эпидемиологии Министерства здравоохранения Республики Беларусь. – Минск: УП «ДИЭКОС», 2000.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители:

Кушнер Татьяна Леонидовна
Яромская Людмила Николаевна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ

для самостоятельной работы студентов по теме

«ДОЗИМЕТРИЯ И ОСЛАБЛЕНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ»

(модуль 2)

по дисциплине

«СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ РАДИОЛОГИЯ»

для студентов специальности

1- 74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство»
дневной формы обучения

Ответственный за выпуск: **Кушнер Т.Л.**

Редактор: **Строкач Т.В.**

Компьютерная верстка: **Кармаш Е.Л.**

Корректор: **Никитчик Е.В.**

Подписано к печати 23.12. 2008. Формат 60x84 1/16. Бумага «Снегурочка». Усл. п. л. 0,93.

Уч. изд. л.1. Тираж 50 экз. Заказ №1222. Отпечатано на ризографе учреждения
образования «Брестский государственный технический университет».

224017, Брест, ул. Московская, 267.