

Лабораторная работа № 4 по радиационной экологии «Дозиметрия»

Основные формулы:

1. $X = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot t}{R^2}$ (Р)

2. $P = Xt$

3. $H = Pk$

4. $H_{эф} = \sum_i W_i H_i$

Пример решения задачи

Задача 1.

Дано. Определить величину экспозиционной дозы гамма-излучения от точечного источника кобальта-60 (^{60}Co) активностью 10 мКи на расстоянии 0,5 м в течение 1 недели.

Решение.

1. Определяем период полураспада для кобальта-60 ($T_{1/2} = 5,3$ года).
2. Так как период полураспада намного больше времени облучения, то для определения экспозиционной дозы используем выражение:

$$X = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot t}{R^2} = \frac{10 \cdot 12,93 \cdot (7 \cdot 24)}{(0,5 \cdot 100)^2} \approx 8,67 \text{ (Р)}$$

3. Учитываем что коэффициент K_γ имеет размерность $(\text{Р} \cdot \text{см}^2)/(\text{мКи} \cdot \text{ч})$, поэтому значение расстояния надо указать в см, активности в мКи, а длительности в ч.

Характеристики некоторых радиоактивных веществ

№	Вещество	Γ_δ $\left[\frac{\text{Гр} \cdot \text{м}^2}{\text{Бк} \cdot \text{с}} \cdot 10^{-18} \right]$	K_γ $\left[\frac{\text{Р} \cdot \text{см}^2}{\text{мКи} \cdot \text{ч}} \right]$	$B_{сy}$ $\left[\frac{\text{Зв} \cdot \text{м}^2}{\text{Бк} \cdot \text{с}} \right]$	$T_{1/2}$
1	Аргон-41 (^{41}Ar)	43,09	6,6		1,8 ч
2	Бром-82 (^{82}Br)	87,3	14,5		35,3 ч
3	Европий-154 (^{154}Eu)	43,04	5,02		16 лет
4	Йод-131 (^{131}I)	14,2	2,15	$1,93 \cdot 10^{-16}$	8,04 сут.
5	Калий-40 (^{40}K)				30 лет
6	Кобальт-60 (^{60}Co)	84,63	12,93	$1,15 \cdot 10^{-15}$	5,3 года
7	Лантан-140 (^{140}La)	75,6	11,14		40,2 ч
8	Марганец-52 (^{52}Mn)	118,3	18,03		271 сут.
9	Марганец-56 (^{56}Mn)	55,8	2,28		2,6 ч
10	Медь-64 (^{64}Cu)	7,42	1,12		12,7 ч
11	Мышьяк-74 (^{74}As)	16,74	4,43		26 ч
12	Натрий-22 (^{22}Na)	78,02	11,9		2,6 года
13	Натрий-24 (^{24}Na)	119,4	18,55		15,005 ч
14	Плутоний-239 (^{239}Pu)			$3,73 \cdot 10^{-20}$	24 300 лет

№	Вещество	$\frac{\Gamma_{\delta}}{\left[\frac{\text{Гр} \cdot \text{м}^2}{\text{Бк} \cdot \text{с}}\right] 10^{-18}}$	$\frac{K_{\gamma}}{\left[\frac{\text{Р} \cdot \text{см}^2}{\text{мКи} \cdot \text{ч}}\right]}$	$\frac{B_{\text{сy}}}{\left[\frac{\text{Зв} \cdot \text{м}^2}{\text{Бк} \cdot \text{с}}\right]}$	$T_{1/2}$
15	Полоний-210 (^{210}Po)				138,4 сут.
16	Прометий-145 (^{145}Pm)				2,6 года
17	Радий-226 (^{226}Ra)				1600 лет
18	Ртуть-203 (^{203}Hg)				46,8 сут.
19	Рутений-103 (^{103}Ru)			$2,68 \cdot 10^{-16}$	39,3 сут.
20	Рутений-106 (^{106}Ru)	7,58	1,54	$1,03 \cdot 10^{-16}$	1 год
21	Стронций-90 (^{90}Sr)				29,12 года
22	Таллий-204 (^{204}Tl)				3,6 года
23	Цезий-134 (^{134}Cs)	57,44	8,6	$7,83 \cdot 10^{-16}$	2,06 года
24	Цезий-137 (^{137}Cs)	21,33	3,24	$2,91 \cdot 10^{-16}$	30 лет
25	Цинк-65 (^{65}Zn)				244 сут.

Задача 2.

Дано. Определить, какую эквивалентную дозу накопил биологический объект за 7 суток, если он подвергся комбинированному облучению альфа- и бета-частицами, мощности поглощённых доз которых составили Р 20 и 300 Гр/ч соответственно.

Решение.

1. Рассчитываем дозу, полученную биологическим объектом за неделю (168 ч) облучения альфа-частицами из соотношения:

$$P_{\alpha} = X_{\alpha} t = 20 \cdot 168 = 3360 \text{ (Гр)}$$

2. Рассчитываем дозу, полученную биологическим объектом при облучении бета-частицами:

$$P_{\beta} = X_{\beta} t = 300 \cdot 168 = 50400 \text{ (Гр)}$$

3. Определяем эквивалентную дозу, полученную при облучении объекта альфа- и бета-частицами, с учётом коэффициентов качества облучения (см. таблицу) из выражения:

$$H = k_{\alpha} P_{\alpha} + k_{\beta} P_{\beta} = 20 \cdot 3360 + 1 \cdot 50400 \approx 1,18 \cdot 10^5 \text{ (Зв)}$$

Значения коэффициентов качества облучения для некоторых видов излучения

Вид излучения	k (Зв/Гр)
Рентгеновское и гамма-излучение	1
Бета-излучение (электроны и позитроны)	1
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
Альфа-излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Нейтроны с энергией 0,1...10 МэВ	10
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3

Задача 3.

Дано. При работе с источником ионизирующих излучений рабочий получил облучение гонад (половых желёз) и клеток костных поверхностей эквивалентной дозой 550 бэр. Определить эффективную эквивалентную дозу облучения. Сделать выводы о последствиях этого облучения.

Решение.

1. По таблице определяем значения взвешивающих коэффициентов для гонад и клеток костных тканей (W). Они составляют 0,20 и 0,01 соответственно.
2. Определяем эффективную эквивалентную дозу облучения из соотношения:

$$H_{эф} = \sum_i W_i H_i = 550 \cdot 0,2 + 550 \cdot 0,01 = 115,5$$

3. Выводы: 1. Полученная доза превышает допустимую месячную дозу облучения в чрезвычайных ситуациях военного времени. 2. Эта же доза вызовет временную стерилизацию мужчин..

Значения взвешивающих коэффициентов, характеризующих степень риска облучения данного органа (ткани) по отношению к суммарному риску облучения всего организма

Органы ткани	W	Органы ткани	W	Органы ткани	W
Гонады	0,20	Грудная железа	0,05	Кожа	0,01
Красный костный мозг	0,12	Печень	0,05	Клетки костных тканей	0,01
Легкие	0,12	Пищевод	0,05	Головной мозг	0,025
Мочевой пузырь	0,05	Щитовидная железа	0,05	Остальные ткани	0,05

Значение некоторых доз облучения для населения

№ п/п	Наименование доз облучения	Величины доз
1	Допустимая разовая доза облучения в ЧС военного времени	50 бэр
2	Допустимая месячная доза облучения в ЧС военного времени	100 бэр
3	Допустимая годовая доза облучения в ЧС военного времени	300 бэр
4	Допустимая накопленная доза облучения при авариях на радиационно опасных объектах	25 бэр
5	Допустимая средняя годовая доза облучения персонала	2 бэр/год
6	Допустимая средняя годовая доза облучения населения	0,1 бэр/год
7	Доза облучения, вызывающая временную стерилизацию мужчин	10 бэр
8	Доза облучения, вызывающая постоянную стерилизацию мужчин	200 бэр
9	Доза облучения, вызывающая постоянную стерилизацию женщин	300 бэр
10	Доза облучения, которую выдерживают почки	2300 бэр
11	Доза облучения, которую выдерживают кости и хрящи	7000 бэр
12	Доза облучения, которую выдерживает печень	4000 бэр
13	Доза облучения, которую выдерживает головной мозг	8000 бэр

Задача для самостоятельной работы

Задача 1.

Дано. Определить величину экспозиционной дозы гамма-излучения от точечного источника M активностью A на расстоянии R в течение времени t . Исходные данные для расчёта приведены в таблице.

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Источник M	Мышьяк ^{74}As	Рутений ^{103}Ru	Медь ^{64}Cu	Бром ^{82}Br	Йод ^{131}I	Полоний ^{210}Po
Активность A , Ки	0,1	0,5	0,125	0,15	0,04	0,025
Расстояние R	1 см	2 см	5 см	10 см	20 см	0,5 м
Время t	10 мин	1 ч	12 ч	1 сут.	1 нед.	1 мес.

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Источник M	Бром ^{82}Br	Лантан ^{140}La	Цинк ^{65}Zn	Йод ^{131}I	Марганец ^{52}Mn	Полоний ^{210}Po
Активность A , Ки	0,252	0,305	0,125	0,0405	0,0115	0,0212
Расстояние R	10 см	20 см	0,5 м	1 м	2 м	5 м
Время t	30 мин	6 ч	1 сут.	2 нед.	2 нед.	2 мес.

Задача 2.

Дано. Определить, какую эквивалентную дозу накопил биологический объект за время t , если он подвергся комбинированному облучению двумя видами излучения, мощности поглощённых доз которых составили R_{D_1} и R_{D_2} соответственно. Исходные данные для расчёта см. в таблице.

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Время облучения t , сут.	4	14	21	15	20	5
Первый вид излучения	Альфа	Гамма	Бета	Протоны	Гамма	Нейтроны до 10 МэВ
R_{D_1} , Гр/ч	25	30	15	10	8	18
Второй вид излучения	Бета	Протоны	Гамма	Бета	Нейтроны до 10 МэВ	Альфа
R_{D_2} , Гр/ч	35	20	12	17	15	13

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
Время облучения t , сут.	2	3	5	4	6	7
Первый вид излучения	Нейтроны до 10 МэВ	Протоны	Гамма	Альфа	Бета	Гамма
R_{D_1} , Гр/ч	14	8	17	6	5	3
Второй вид излучения	Гамма	Бета	Нейтроны до 10 МэВ	Гамма	Протоны	Альфа
R_{D_2} , Гр/ч	24	10	13	12	6	2

Задача 3.

Дано. При работе с источником ионизирующих излучений рабочий получил облучение органов M и N эквивалентной дозой H бэр. Определить эффективную эквивалентную дозу облучения. Сделать выводы о последствиях этого облучения. Исходные данные для расчёта приведены в таблице.

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Орган M	Пищевод	Клетки костных тканей	Клетки костных тканей	Пищевод	Мочевой пузырь	Кожа
Орган N	Легкие	Головной мозг	Кожа	Щитовидная железа	Гонады	Печень
H , бэр	500	350	600	550	950	450

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
Орган M	Кожа	Мочевой пузырь	Клетки костных тканей	Пищевод	Клетки костных тканей	Пищевод
Орган N	Печень	Гонады	Кожа	Легкие	Головной мозг	Щитовидная железа
H , бэр	1200	1350	2150	1780	1690	1000

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
Источник излучения, N	Аргон ^{41}Ar	Кобальт ^{60}Co	Цезий ^{137}Cs	Рутений ^{106}Ru	Европий ^{154}Eu	Медь ^{64}Cu
Активность источника A , Ки	1	4	5	3	6	2
Энергия излучения E_γ , МэВ	ОД	0,2	0,4	0,5	0,6	0,3
Расст. от ист. до РМ R , м	5	7	4	6	7	4

Задача 4.

Дано. Мощность экспозиционной дозы без защиты на рабочем месте равна P_x , мР/ч. Рассчитать толщину защиты из вещества M , если источником является цезий-137 (E_γ , МэВ), а время работы t часов в неделю. Исходные данные для расчёта приведены в таблице.

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Вещество M	Алюминий	Бетон	Железо	Медь	Олово	Свинец
Энергия E_γ , МэВ	0,662	0,6	0,8	1,0	0,5	1,25
Время работы, t	7	10	13	5	10	11
P_x , мР/ч	280	220	140	250	240	220

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
Вещество M	Алюминий	Бетон	Железо	Медь	Олово	Свинец
Энергия E_γ , МэВ	1,0	0,8	1,0	0,662	1,5	0,662
Время работы, t	8	7	4	6	5	9
P_x , мР/ч	240	280	250	320	250	270