

ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

1. ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЭКРАНОВ

Определить толщину защитных экранов из различных материалов.

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчетов

№ вар.	β-излучение*		γ-излучение			
	Е, МэВ	Коэффициент ослабления К	Е, МэВ	Коэффициент ослабления К	материал экрана	геометрия пучка
1	0,15	20	0,5	3	вода	узкий
2	0,20	18	0,6	4	вода	широкий
3	0,30	16	0,8	5	бетон	узкий
4	0,40	15	1,0	6	бетон	широкий
5	0,5	14	1,25	7	железо	узкий
6	0,60	13	0,5	8	железо	широкий
7	0,70	12	0,6	9	свинец	узкий
8	0,80	11	0,8	10	свинец	широкий
9	0,90	10	1,0	11	вода	узкий
10	1,0	12	1,25	12	вода	широкий
11	1,2	14	0,5	10	бетон	узкий
12	1,4	15	0,6	8	бетон	широкий
13	1,6	16	0,8	6	железо	узкий
14	1,8	17	1,0	4	железо	широкий
15	2,0	18	1,25	2	свинец	узкий
16	2,2	19	0,5	3	свинец	широкий
17	2,4	20	0,6	5	вода	узкий
18	2,6	22	0,8	7	вода	широкий
19	2,8	24	1,0	9	бетон	узкий
20	3,0	25	1,25	10	бетон	широкий
21	0,15	26	0,5	11	железо	узкий
22	0,30	27	0,6	12	железо	широкий
23	0,50	28	0,8	13	свинец	узкий
24	0,70	29	1,0	14	свинец	широкий
25	0,90	30	1,25	15	вода	узкий
26	1,2	26	0,5	16	вода	широкий
27	1,6	22	0,6	17	бетон	узкий
28	2,0	20	0,8	18	бетон	широкий
29	2,4	18	1,0	16	железо	узкий
30	2,8	15	1,25	10	железо	широкий

* материал экрана для защиты от β-излучения: алюминий

Методика расчета

Расчет толщины экранов (d, см) производится по формуле:

$$d = \frac{\Delta_{1/2} \cdot \ln K}{0,693} \quad (2.1)$$

где $\Delta_{1/2}$ – слой половинного ослабления, см; для β-излучения определяется по табл.2.2 с учетом плотности алюминия ($\rho_{Al} = 2700 \text{ мг/см}^3$), для γ-излучения выбирается по табл.2.3; К – коэффициент ослабления, представляющий собой отношение интенсивности первичного излучения, падающего на экран, к интенсивности излучения после прохождения экрана (табл.2.1).

Результаты расчетов представьте в виде табл.2.4.

Таблица 2.2 – Значения $\Delta_{1/2}$ для алюминия в зависимости от максимальной энергии β -спектра, мг/см²

Е, МэВ	$\Delta_{1/2}$, мг/см ²	Е, МэВ	$\Delta_{1/2}$, мг/см ²	Е, МэВ	$\Delta_{1/2}$, мг/см ²	Е, МэВ	$\Delta_{1/2}$, мг/см ²
0,15	2,7	0,60	24,0	1,2	70,0	2,2	150,0
0,20	3,8	0,70	30,0	1,4	87,0	2,4	168,0
0,30	7,0	0,80	37,0	1,6	107,0	2,6	180,0
0,40	11,7	0,90	45,0	1,8	121,0	2,8	195,0
0,50	17,5	1,00	53,0	2,0	140,0	3,0	210,0

Таблица 2.3 – Толщина $\Delta_{1/2}$ слоёв половинного ослабления в зависимости от энергии γ -квантов, см

Материал	Энергия γ -квантов, МэВ				
экрана	0,5	0,6	0,8	1,0	1,25
Вода	7,2/11,0*	7,7/11,0	8,8/12,0	9,8/12,0	11,0/14,0
Бетон	3,4/4,7	3,7/5,0	4,2/5,8	4,6/6,4	5,2/7,3
Железо	1,05/1,5	1,15/1,7	1,3/2,0	1,5/2,1	1,7/2,4
свинец	0,4/0,5	0,55/0,6	0,7/0,85	0,95/1,0	1,1/1,1

* числитель – данные для узкого пучка, знаменатель – для широкого пучка

Таблица 2.4 – Результаты расчетов защиты толщины экранов для защиты от ионизирующих излучений

Вид излучения	Е, МэВ	Материал экрана	$\Delta_{1/2}$, см	К	d, см
β -излучение					
γ -излучение: пучок*					

*Указывается геометрия пучка

2. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ЭКРАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В одном из производственных помещений установлен рентгеновский аппарат для проведения рентгенографического анализа. В соседних комнатах работают люди, не являющиеся производственным персоналом. Согласно НРБ-99 они относятся к категории Б.

Требуется определить условия, обеспечивающие безопасность этих людей. Для этого следует рассчитать необходимую толщину защитного экрана из бетона и сравнить ее с фактической. При необходимости сделать расчеты защиты «количеством», «расстоянием», «временем» и сравнить их.

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета толщины экрана для защиты от рентгеновского излучения*

№ варианта	$U_{\max}$, кВ	t, ч/нед	J, мА	R, м	Фактическая толщина экрана, см
1	100	18	20	1,4	26
2	150	20	21	1,45	30
3	200	22	22	1,5	25
4	100	24	23	2,55	34
5	150	26	24	1,7	28
6	200	28	25	2,25	24
7	100	30	20	1,7	35
8	150	32	21	3,75	40
9	200	34	22	2	37
10	100	36	23	2,5	25
11	150	19	24	3,9	43
12	200	21	25	3,4	26
13	100	23	30	1,8	30
14	150	25	21	1,6	25
15	200	27	22	2,55	34
16	100	29	15	2,6	28

17	150	31	24	1,65	24
18	200	25	25	1,7	35
19	100	35	10	1,75	40
20	150	18	21	2	37
21	200	19	22	2,5	25
22	100	20	23	2,5	43
23	150	21	24	1,5	26
24	200	22	25	1,75	30
25	100	23	20	1,5	25
26	150	24	21	2,55	34
27	200	25	22	3,1	28
28	100	26	23	2,9	24
29	150	27	24	2,2	35
30	200	28	25	2,75	40

* Фактическая толщина экрана (d_{ϕ}) составляет: при $U_{\max} = 100$ кВ – $d_{\phi} = 23$ см; при $U_{\max} = 150$ кВ – $d_{\phi} = 35$ см; при $U_{\max} = 200$ кВ – $d_{\phi} = 44$ см.

Методика расчета

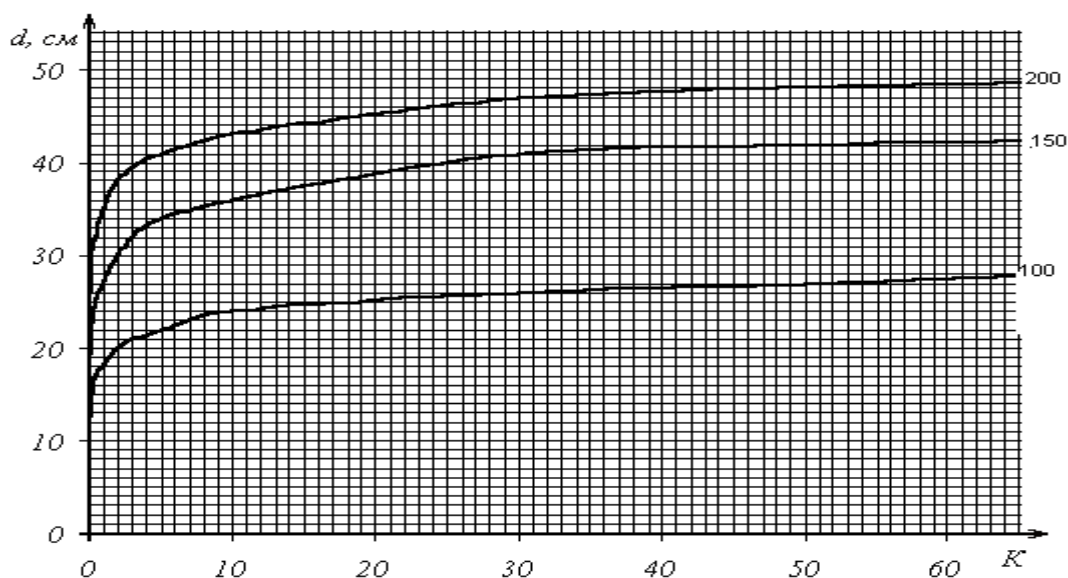
Для количественного определения следует воспользоваться зависимостью между толщиной защитного экрана (d , см), напряжением на рентгеновском аппарате (трубке) ($U_{\max}$, кВ) и показателем (K) (рис.2.1). Последний рассчитывают по формуле:

$$K = \frac{0,028 \cdot J \cdot t}{R^2 \cdot D} \quad (2.1)$$

где J – сила тока в рентгеновской трубке, мА; t – время облучения, ч/нед; R – расстояние до защищаемого объекта, м; D – предел эффективной дозы в неделю для лиц рассматриваемой категории, мЗв/нед; для категории Б – персонала, не работающего непосредственно с источником излучения – ПД = 5 мЗв/год.

Определить толщину бетонного экрана для защиты от рентгеновского излучения при заданных значениях и сравнить ее с фактической. При необходимости сделать расчеты защиты «количеством», «расстоянием», «временем» и сравнить их. При выполнении расчетов следует воспользоваться ниже приведенным примером.

Рисунок 2.1 – Зависимость толщины защитного экрана d (см) из бетона от показателя K при напряжении на рентгеновской трубке $U = 100$ кВ, 150 кВ, 200 кВ



Пример расчета

Определить толщину бетонного экрана для защиты от рентгеновского излучения при напряжении на рентгеновском аппарате $U_{\max} = 100$ кВ; сравнить ее с фактической. При необходимости сделать расчеты защиты «количеством», «расстоянием», «временем» и сравнить их.

Исходные данные: $J = 25$ мА; $t = 20$ ч/нед; $R = 1,5$ м; $D = 0,104$ мЗв/нед. Доза D определена из отношения ПД (для категории Б – персонала, не работающего непосредственно с источником излучения – ПД = 5 мЗв/год) к количеству рабочих недель за год (48 недель). Фактическая толщина экрана составляет 26 см.

Решение:

1) *Определение толщины экрана для защиты от рентгеновского излучения*

Для расчета используем формулу 2.1.:

$$K = 0,028 * 25 * 20 / 1,5^2 * 0,104 = 59,8 \approx 60$$

Для определения толщины защитного экрана d используем график зависимости d от K (рис.2.1). При $K = 60$ и $U_{\max} = 100$ кВ толщина экрана d , обеспечивающего безопасность работы, составляет 27,5 см.

С учетом того, что фактическая толщина защитного экрана (26 см) меньше расчетной (27,5 см) необходимо сделать расчеты защиты «расстоянием», «временем» и «количеством».

2) *«Защита расстоянием»*

Для определения «защиты расстоянием» выразим расстояние до защищаемого объекта R (м) из формулы (2.1):

$$R = (0,028 J t / K D)^{1/2} \quad (2.2)$$

Тогда при фактической толщине $d = 26$ см показатель $K = 28$ (определяется по рис.3.1) и величина R (м) составит:

$$R = (0,028 * 25 * 20 / 28 * 0,104)^{1/2} = 2,19$$

Так как фактическое расстояние ($R_{\text{факт}} = 1,5$ м) меньше расчетного ($R_{\text{расч}} = 2,19$ м), то расстояние до работника должно быть увеличено на величину r (м):

$$r = R_{\text{расч}} - R_{\text{факт}} \quad (2.3)$$

$$r = 2,19 - 1,5 = 0,7$$

Таким образом, рабочее место следует переместить на 0,7 м.

3) *«Защита временем»*

Для определения «защиты временем» используем базовую формулу:

$$t = K R^2 D / 0,028 J \quad (2.4)$$

$$t = 28 * 1,5^2 * 0,104 / 0,028 * 25 = 9,36$$

Таким образом, недельное время пребывания должно быть уменьшено более чем в 2 раза ($20/9,36 = 2,1$).

4) *«Защита количеством»*

Для определения «защиты количеством» используем формулу:

$$J = K R^2 D / 0,028 t \quad (2.5)$$

$$J = 28 * 1,5^2 * 0,104 / 0,028 * 20 = 11,7$$

Таким образом, ток на трубке должен быть снижен до 11,7 мА.

Анализируя приведенный пример можно заключить, что наиболее простым является установка дополнительного экрана из бетона.