

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені О.О.БОГОМОЛЬЦЯ

“Затверджено”
на методичній нараді кафедри
гігієни та екології №1
Завідувач кафедри член-
кореспондент НАМН України,
професор В.Г.Бардов

(ПП, підпис)

“ _____ ” _____ 2017 р.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНОГО (СЕМІНАРСЬКОГО) ЗАНЯТТЯ

<i>Навчальна дисципліна</i>	Гігієна та екологія.
<i>Модуль №</i>	2
<i>Змістовний модуль №</i>	2
<i>Тема заняття</i>	«Розрахункові методи оцінки радіаційної небезпеки та параметрів захисту від зовнішнього опромінення»»
<i>Курс</i>	III
<i>Факультет</i>	Медичний

Укладач: професор І.М Пельо,

Київ 2017

1. Актуальність теми:

Людина постійно зазнає впливу джерел іонізуючої радіації. Рівень цього впливу визначається індустріальним розвитком країни, якістю медичного обслуговування, способом життя населення, географічним розташуванням місця проживання та ін. Необхідність обліку всіх джерел опромінення людини підтверджується концепцією «малих доз», яка свідчить, що навіть мінімальне опромінення людини іонізуючою радіацією несе в собі небезпеку для цього індивідууму, його потомства, підвищує імовірність розвитку онкопатології, знижує опірність організму інфекційним і неінфекційним агентам. Тобто, назріла необхідність детального обліку всіх доз опромінення, які може одержувати населення від природних та індустріальних джерел іонізуючого випромінювання.

2. Конкретні цілі :

1. Оволодіти розрахунковими методами оцінки радіаційної небезпеки та параметрів захисту від зовнішнього опромінення при роботі з джерелами β -, γ - та рентгенівського випромінювання.

2. Користуватись довідково-нормативними матеріалами при оцінці параметрів захисту від зовнішнього опромінення.

Для реалізації перерахованих цілей необхідні початкові знання-уміння, отримані студентами на попередніх заняттях з розділу «Радіаційна гігієна».

3. Базовий рівень підготовки.

Зв'язок з іншими дисциплінами	Навички, що необхідні для вивчення теми
Медична і біологічна фізика.	Пояснювати будову атома та його ядра. Пояснювати сутність радіоактивності та природу цього явища. Пояснювати види ядерних перетворень. Пояснювати види іонізуючого випромінювання їх якісні та кількісні характеристики, одиниці вимірювання.
Медична біологія.	Пояснювати основи біологічної дії іонізуючого випромінювання. Пояснювати первинні процеси при дії іонізуючого випромінювання. Пояснювати дію іонізуючого випромінювання на клітину та багатоклітинні організми. Пояснювати дію іонізуючого випромінювання на організм теплокровних. Пояснювати реакції організму людини на дію іонізуючого випромінювання.
Гігієна та екологія.	Пояснювати поняття про дозові ліміти та принципи радіаційного захисту. Пояснювати дозові ліміти зовнішнього опромінення. Пояснювати допустимі рівні внутрішнього опромінення. Класифікувати ситуації діяльності людини, пов'язані з джерелами іонізуючого випромінювання.

	Використовувати групи регламентів і нормативні показники (ліміти доз, рівні дії, допустимі рівні надходження радіонуклідів через органи дихання і травлення ті ін.) при визначенні можливого радіаційного впливу на організм людини.
Радіологія	Класифікувати та пояснювати види променевих уражень організму людини.

4. Завдання для самостійної праці під час підготовки до заняття

4.1. Перелік основних термінів, параметрів, характеристик, які повинен засвоїти студент при підготовці до заняття:

Термін	Визначення
Радіоактивність	Спонтанне перетворення ядер атомів хімічних елементів зі зміною їх хімічної природи або енергетичного стану ядра, яке супроводжується ядерними випромінюваннями.
Радіонуклід	Радіоактивний атом з певним масовим числом і зарядом (атомним номером).
Ізотопи радіоактивні	Радіоактивні атоми з однаковим зарядом (атомним номером) і різними масовими числами, тобто з однаковою кількістю протонів та різною кількістю нейтронів у ядрі.
Радіоактивна речовина	Речовина, до складу якої входять природні чи штучні радіонукліди.
Радіоактивне випромінювання	Випромінювання, що виникає при ядерних перетвореннях природних або штучних радіонуклідів.
Іонізуюче випромінювання	Електромагнітне чи корпускулярне випромінювання, здатне при взаємодії з речовиною прямо чи опосередковано викликати іонізацію та збудження її атомів.
α -випромінювання	Потік позитивно заряджених частинок – ядер гелію.
β -випромінювання	Потік негативно заряджених елементарних частинок – електронів або позитивно заряджених – позитронів.
γ -випромінювання	Потік γ -квантів, тобто певних порцій електромагнітної енергії з дуже короткою довжиною хвилі.
Нейтронне випромінювання	Потік електрично нейтральних ядерних частинок – нейтронів, що випускається при самовільному поділі ядер чи виникають при ядерних реакціях.
Рентгенівське випромінювання	Потік квантів чи порцій електромагнітної енергії, які штучно утворюються при взаємодії електронів з речовиною.

4.2. Теоретичні питання до заняття:

1. Якісні характеристики радіонуклідів (види ядерних перетворень та види випромінювань, які їх супроводжують, період напіврозпаду, активність).
2. Кількісні характеристики радіонуклідів (γ -еквівалент, одиниці вимірювання).
3. Якісні характеристики іонізуючих випромінювань (їх вид, енергія, проникаюча здатність, іонізуюча здатність).
4. Кількісні характеристики іонізуючих випромінювань (поглинута доза, поглинута в повітрі доза, щільність потоку часток, еквівалентна доза, ефективна доза, потужність поглинутої в повітрі дози, одиниці вимірювання).
5. Види радіаційного впливу (зовнішнього та внутрішнього опромінення) на організм, умови від яких вони залежать. Закриті та відкриті джерела ядерних випромінювань.
6. Ліміт доз зовнішнього та внутрішнього опромінення. НРБУ-97.
7. Методи і засоби захисту від зовнішнього та внутрішнього опромінення санітарно-гігієнічного характеру, їх організаційне і технічне вирішення.
8. Методи захисту від зовнішнього опромінення, основані на фізичних законах його послаблення (захист кількістю, часом, відстанню, екрануванням), їх законодавчі та організаційно-технічні основи.
9. Принципи, покладені в основу вибору матеріалу й розрахунку товщини захисних екранів від β -, γ - та рентгенівського випромінювання.
10. Значення розрахункових методів оцінки радіаційної небезпеки та параметрів захисту від зовнішнього опромінення в комплексі заходів з протирадіаційного захисту персоналу.

4.3. Практичні роботи (завдання) які виконуються на занятті:

Задача 1. Радіоактивний фосфор-32 активністю 40 мКі (1,48 МБк) зберігається в скляному флаконі з товщиною стінок 3 мм. Чи забезпечує флакон захист від бета-опромінення. Якщо ні, то яка товщина стінок флакона повинна бути.

Задача 2. Розрахуйте дозу зовнішнього опромінення, створюваного радіоактивним цезієм-137, активність якого 10 мКі (370 кБк) на відстані 0,5 м при роботі на протязі 20 годин на тиждень.

Методика розрахунку параметрів захисту від зовнішнього бета-опромінення

Усі без винятку α -випромінюючі і переважна більшість β -випромінюючих радіонуклідів супроводжуються і гамма випромінюванням. Тому захист від зовнішнього гама-випромінювання повністю забезпечує і захист від α - та β -випромінювання.

Лише чисті β -випромінювачі, у яких відсутнє γ -випромінювання (P^{32} , S^{35} , C^{14} , Ca^{46} , Sr^{89} , Sr^{90} , Ir^{90}), потребують захисту від зовнішнього опромінення, дещо відмінного від захисту від γ -випромінювання. Такий захист досягається відстанню та екрануванням і оснований на довжині пробігу β -частинок у повітрі чи в екрануючих матеріалах. А довжина пробігу залежить від енергії цього випромінювання.

Для визначення безпечної відстані чи товщини захисного екрану в табл. 1 “Основні фізичні характеристики деяких радіонуклідів” знаходять максимальну енергію β -випромінювання даного ізотопу, а в табл. 2 – безпечну відстань (довжина пробігу у повітрі), чи товщину захисного екрану – з алюмінію, силікатного, органічного скла, пластиків тощо.

Таблиця 1.

Основні фізичні характеристики деяких радіонуклідів

Радіонуклід	Вид випромінювання	Період напіврозпаду T _{1/2}	Енергія α-випромінювання, МеВ	Енергія β-випромінювання, МеВ		Енергія γ-випромінювання, МеВ	γ-стала радіонукліду	γ-еквівалент радіонукліду, мг-екв Ra	Шар половинного послаблення, мг/см ²
				середня	максимальна				
Натрій-24	β, γ	15,6 год	-	0,55	1,39	2,76	19,06	2,27	38
Фосфор-32	β	14,3 діб	-	0,68	1,708	-	-	-	115
Сірка-35	β	37,1 діб	-	0,056	0,169	-	-	-	3
Калій-40	β, γ	1,4·10 ⁹ років	-	0,061	1,325	1,47	0,81	0,096	81
Вуглець-14	β	5568 років	-	0,06	0,155	-	-	-	2,6
Кальцій-46	β	152 діб	-	0,084	0,264	-	-	-	5,5
Марганець-52	β, γ	5 діб	-	0,21	0,58	1,46	13,24	2,26	22,5
Залізо-59	β, γ	41,1 діб	-	0,16	0,46	0,29	6,25	0,74	15,1
Кобальт-60	β, γ	5,3 років	-	0,098	0,306	1,38	13,2	1,57	7,3
Мідь-64	β, γ	12,8 год.	-	0,19	0,57	1,34	1,2	0,14	21,8
Стронцій-89	β	53 діб	-	0,57	1,5	-	-	-	97,0
Стронцій-90	β	29,4 років	-	0,2	0,61	-	-	-	24,4
Ітрій-90	β	64,2 год.	-	0,89	2,26	-	-	-	150
Йод-131	β, γ	8,05 діб	-	0,07	0,25	0,722	2,3	0,27	4,6
Цезій-137	β, γ	26,2 років	-	0,16	0,523	0,661	3,55	0,42	18,9
Барій-140	β, γ	12,8 діб	-	0,14	0,5448	0,54	2,52	0,16	16,3
Золото-198	β, γ	2,69 діб	-	0,084	0,29	1,09	2,47	0,29	6,6
Полоній-210	α, γ	138,3 діб	5,30	-	-	-	4,6 · 10 ⁻⁵	5,5 · 10 ⁻⁶	-
Радій-226	α, γ	1620 років	4,77	-	-	0,184	8,4	1,0	-
Уран-238	α, γ	4,49·10 ⁹ років	4,17	-	-	0,05	0,082	0,011	-

**Максимальний пробіг бета-частинок в різних середовищах
у залежності від енергії**

Енергія β -частинок, МеВ	Довжина пробігу бета-частинок		
	в повітрі, м	в алюмінії та силіка- тному склі, мм	в м'яких тканинах, воді, органічному склі, пластиках, мм
0,01	0,00229	0,00127	0,00247
0,02	0,00773	0,00422	0,00841
0,03	0,0161	0,00870	0,0175
0,04	0,0266	0,0143	0,0290
0,05	0,0394	0,0212	0,0431
0,06	0,0541	0,0289	0,0591
0,07	0,0708	0,0378	0,0774
0,08	0,0889	0,0478	0,0974
0,09	0,109	0,0578	0,119
0,10	0,130	0,0693	0,143
0,15	0,256	0,135	0,281
0,20	0,407	0,214	0,448
0,25	0,747	0,304	0,638
0,30	0,763	0,400	0,841
0,35	0,959	0,504	1,06
0,40	1,168	0,611	1,29
0,45	1,384	0,722	1,52
0,50	1,601	0,837	1,77
0,55	1,817	0,952	2,01
0,60	2,050	1,070	2,27
0,65	2,774	1,193	2,52
0,70	2,513	1,315	2,78
0,75	2,745	1,437	3,04
0,80	2,985	1,559	3,31
0,85	3,217	1,685	3,57
0,90	3,449	1,807	3,84
0,95	3,697	1,933	4,11
1,00	3,936	2,059	4,38
1,20	4,896	2,563	5,47
1,30	5,868	3,070	6,56
1,60	6,821	3,574	7,60
1,80	7,781	4,074	8,75
2,00	8,732	4,593	9,84
2,20	9,683	5,074	10,90
2,40	10,611	5,593	12,00
2,60	11,510	6,074	13,10
2,80	12,459	6,593	14,20
3,00	13,441	7,741	15,30

Методика розрахунку параметрів захисту від зовнішнього γ -опромінення на підставі тижневих доз опромінення, виражених у рентгенах

Для оцінки умов праці при роботі з джерелами γ -випромінювання і розрахунку захисту від зовнішнього опромінення користуються формулами (1), (2), які визначають залежність дози опромінення (Д) від кількості радіонукліду (активності джерела), часу опромінення і відстані між джерелом випромінювання та опромінюваним об'єктом:

$$D = \frac{Q \cdot K_{\gamma} \cdot t}{R^2} - \text{Рентген/тиждень (1)}$$

$$D = \frac{M \cdot 8,4 \cdot t}{R^2} - \text{Рентген/тиждень (2)}$$

де: Q – активність джерела в мілікюрі;

M - активність джерела в мг/екв радію;

K_{γ} - γ -постійна радіонукліду (таблиця 1);

8,4 - γ -постійна радію;

t – час опромінення за робочий тиждень – у годинах (30 годин у рентгенологів і радіологів при роботі з закритими джерелами; 27 годин – при роботі з відкритими джерелами);

R – відстань між джерелом і опромінюваним об'єктом у сантиметрах;

Оцінка умов праці проводиться шляхом порівняння розрахункової дози з допустимим для категорії А рівнем – 20 мЗв/на 50 робочих тижнів = 0,4 мЗв/тиждень, що для γ -випромінювання дорівнює 0,04 рентгена/тиждень.

Перетворивши вищезгадану формулу відносно Q чи M, t або R, можна визначити активність, час чи відстань, що забезпечують безпеку персоналу. У перетворених формулах доза опромінення позначається D_0 і відповідає допустимій дозі за робочий тиждень - 0,04 рентген (0,4 мЗв).

У тому випадку, коли захист кількістю, відстанню або часом не забезпечують радіаційну безпеку, застосовують екранування.

Для визначення товщини захисного екрану знаходять перш за все кратність послаблення – число, що показує, у скільки разів за допомогою екрана необхідно послабити випромінювання, щоб створена доза опромінення не перевищувала допустимий ліміт дози. Кратність послаблення знаходять за формулою (3):

$$K = D / D_0, \quad (3)$$

де: D – розрахована фактична доза опромінення для конкретних умов роботи;

D_0 – допустима доза опромінення.

На підставі кратності послаблення та енергії γ -випромінювання даного радіонукліда (яку знаходять в табл.1) у спеціальних таблицях (див. табл. 3, 4, 5) знаходять товщину захисного екрану з відповідного матеріалу - свинцю, заліза, бетону.

Таблиця 3.

**Товщина захисту із свинцю в залежності від кратності послаблення та енергії
гама-випромінювання (в мм)**

Крат- ність посла- блення	Енергія гама-випромінювання, МеВ													
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
1,5	0,5	1	1,5	2	2	3	4	6	7	8	9,5	11	12	12
2	1	2	3	4	5	7	8	10	11,5	13	15,5	17	18,5	20
5	2	4	6	9	11	15	19	22	25	28	34	38	41	43
8	2	5	8	11	15	19,5	23,5	28	32	35	42	48	52,5	55
10	3	5,5	9	13	16	21	26	30,5	35	38	45	51	56	59
20	3	6	11	15	20	26	32,5	38,5	44	49	58	66	72	76
30	3,5	7	11,5	17	23	30	36,5	43	49,5	55	65	73	80	85
40	4	8	13	18	24	31	38	45	52	58	68,5	71	86	91
50	4	8,5	14	19,5	26	32,5	39,5	46	53	60	72	82	90	96
60	4,5	9	14,5	20,5	27	34,5	42	49,5	56	63	75	90	95	101
80	4,5	10	15,5	21,5	28	37	47	55	63	70	80	92	101	107
1·10 ²	5	10	16	23	30	38,5	45	53	60	67	84,5	96,5	103	113
2·10 ²	6	12,5	19	26	34	44	53	63	72	80	96,5	111	122	129
5·10 ²	6,5	14	22	31	40	51	61	72	82	92	113	129	142	130
1·10 ³	7	15	24	33	44	57	69,5	81	92	102	123	141	155	165
2·10 ³	8,5	17	27	38	50	63	76	88	101	111	135	154	168	179
5·10 ³	9	19	30	42	55	70	85	99	112	124	149	170	186	198
8·10 ³	10	20	31,5	44	57	73,5	90	104	118	130	158	190	196	208
1·10 ⁴	10,5	21	33	45,5	59	75	91	106	120	133	161	183	201	213
2·10 ⁴	11	22	35	48,5	63	80	97	113	128	142	172	195	214	227
5·10 ⁴	11,5	23,5	37	52	69	87	105	123	140	156	188	214	233	247
1·10 ⁵	11,5	24	38	54	72	92	111	130	148	165	201	227	247	262

Таблиця 4.

**Товщина захисту з заліза (в см) в залежності від кратності послаблення та енергії γ -випромінювання
(широкий пучок; $\rho=7,89$ г/см³)**

Кратність послаб- лення	Енергія γ -випромінювання, МеВ																			
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	0,5	0,9	1,2	1,4	1,6	1,7	1,85	2,0	2,05	2,1	2,15	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	4,0	2,0
2	0,7	1,2	1,7	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	3,2	3,3	3,45	3,6	3,8	3,9	4,1	4,4	4,5	4,6	4,0	3,4
5	1,4	2,5	3,4	4,1	4,8	5,1	5,5	5,7	6,1	6,4	6,9	7,4	7,8	8,1	8,3	8,9	9,4	9,6	9,0	8,0
8	1,7	3,1	4,2	5,1	5,8	6,3	6,7	7,1	7,5	7,8	8,5	9,1	9,6	10,1	10,3	11,2	11,6	12,1	11,2	10,4
10	1,9	3,5	4,6	5,6	6,3	6,8	7,3	7,7	8,1	8,5	9,3	10,0	10,6	11,0	11,4	12,2	12,6	13,2	12,4	11,4
20	2,3	4,3	5,7	6,8	7,7	8,3	8,8	9,4	9,8	10,3	11,3	12,2	13,0	13,6	14,1	15,3	15,9	16,6	16,0	15,0
30	2,4	4,5	6,2	7,5	8,5	9,2	9,8	10,4	10,9	11,4	12,6	13,6	14,4	15,1	15,6	17,0	17,7	18,8	18,0	17,0
40	2,5	4,8	6,6	8,0	9,1	9,8	10,5	11,1	11,7	12,2	13,3	14,4	15,3	16,1	16,6	18,2	19,1	20,4	19,4	18,4
50	2,9	5,2	7,1	8,4	9,5	10,3	11,0	11,6	12,2	12,7	13,9	15,1	16,1	16,9	17,5	19,1	20,0	21,5	20,6	19,6
60	3,1	5,6	7,5	8,8	9,8	10,7	11,4	12,1	12,7	13,2	14,5	15,7	16,7	17,6	18,2	19,9	21,0	22,4	21,4	20,6
80	3,2	5,9	7,7	9,2	10,4	11,2	12,0	12,7	13,4	14,0	15,5	16,3	17,8	18,7	19,4	21,2	22,2	24,0	23,0	22,0
1·10 ²	3,4	6,1	8,1	9,6	10,8	11,7	12,5	13,2	13,9	14,5	16,1	17,3	18,5	19,5	20,2	22,1	23,3	25,0	24,0	23,1
2·10 ²	4,2	7,0	9,1	10,7	12,0	13,1	14,0	14,8	15,6	16,3	18,0	19,6	20,8	22,0	22,8	25,0	26,6	28,4	27,4	26,6
5·10 ²	4,4	7,7	10,1	12,0	13,7	14,9	16,0	17,0	17,9	18,7	20,6	22,3	23,7	25,0	25,9	28,8	30,6	32,7	32,0	31,2
1·10 ³	4,5	8,2	11,0	13,2	15,0	16,3	17,5	18,6	19,6	20,5	22,6	24,4	26,1	27,5	28,6	31,7	33,7	36,0	35,4	34,6
2·10 ³	4,9	9,0	11,1	14,4	16,2	17,7	19,0	20,2	21,2	22,2	24,5	26,5	28,3	30,0	31,2	34,6	36,8	39,2	38,7	37,9
5·10 ³	5,6	10,1	13,4	15,8	17,7	19,3	20,7	22,0	23,2	24,3	27,0	29,4	31,4	33,3	34,3	38,2	40,7	43,2	43,0	42,2
1·10 ⁴	6,8	11,5	14,7	17,1	19,0	20,7	22,3	23,6	24,9	26,0	28,8	31,3	33,6	35,5	36,9	40,9	43,7	46,5	46,3	45,2
2·10 ⁴	8,0	12,9	16,0	18,3	20,2	21,9	23,4	24,8	26,3	27,6	30,6	33,2	35,6	37,8	39,2	43,4	46,5	50,8	49,6	48,6
5·10 ⁴	8,6	13,8	17,0	19,6	21,8	23,6	25,2	26,9	28,4	29,9	33,0	35,9	38,4	40,8	42,3	47,2	50,4	55,0	54,0	53,0
1·10 ⁵	10,0	15,8	18,2	20,8	23,0	24,9	26,7	28,4	30,0	31,5	34,9	38,0	40,7	43,2	44,7	50,0	53,4	58,3	57,2	56,1
2·10 ⁵	11,3	15,9	19,3	21,8	24,1	26,1	28,1	29,9	31,6	33,3	36,8	40,1	43,0	45,4	47,1	52,6	56,4	61,8	60,8	59,8
5·10 ⁵	12,0	16,9	20,4	23,2	25,6	27,8	29,9	31,8	33,6	35,4	39,1	42,5	45,5	48,3	49,9	56,1	60,2	66,0	65,0	64,0
1·10 ⁶	12,8	17,9	21,4	24,2	26,7	28,9	31,2	33,3	35,2	37,0	41,4	44,7	47,8	50,6	52,3	58,8	63,3	69,0	68,3	67,0
2·10 ⁶	13,5	18,9	22,1	25,0	27,7	30,3	32,7	34,8	36,8	38,7	42,9	46,6	49,9	52,8	54,7	61,4	66,2	72,3	71,2	70,3
5·10 ⁶	14,5	19,4	23,2	26,5	29,3	32,2	34,6	36,7	38,8	40,9	45,5	49,4	52,7	55,7	57,7	64,9	70,3	76,5	75,5	74,8
1·10 ⁷	15,0	20,3	24,3	27,6	30,5	33,2	35,8	38,1	40,2	42,4	47,1	51,3	54,8	57,9	60,1	67,5	73,1	79,4	78,8	78,0

Таблиця 5.

**Товщина захисту з бетону (в см) в залежності від кратності послаблення та енергії γ -випромінювання
(широкий пучок; $\rho=2,3$ г/см³)**

Кратність послаб- лення	Енергія γ -випромінювання, МеВ																			
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	2,6	4,7	6,3	7,5	8,2	8,2	8,2	8,3	8,3	8,5	8,6	8,7	8,7	8,8	8,9	9,4	10,0	11,7	11,7	11,7
2	4,7	7,6	9,9	11,3	12,3	12,4	12,4	12,6	12,7	12,9	13,3	13,6	13,8	14,1	14,3	15,3	16,4	18,8	18,8	18,8
5	5,6	11,0	15,5	18,8	21,1	21,8	22,3	22,6	23,0	23,5	24,6	25,8	27,0	28,2	29,4	32,9	35,2	38,7	39,3	39,9
8	7,0	12,9	17,8	22,0	24,6	25,6	26,4	27,2	27,9	28,8	30,5	32,3	33,8	35,2	36,4	39,9	43,4	48,1	48,7	49,3
10	8,2	14,6	19,7	23,7	25,8	26,8	27,6	28,4	29,1	29,9	31,9	34,0	35,9	37,6	39,0	43,4	47,5	51,6	52,8	54,0
20	8,2	15,3	21,4	25,8	29,9	31,9	33,6	35,0	36,2	37,0	39,9	42,5	44,8	47,0	48,6	54,0	58,7	64,6	65,7	69,3
30	8,5	16,4	22,8	27,7	32,9	34,8	36,4	37,8	39,2	40,5	43,7	46,5	49,3	51,6	53,5	59,9	65,7	71,6	72,8	78,1
40	8,5	17,6	24,2	29,6	34,0	36,2	37,9	39,6	41,3	42,8	45,3	49,8	52,8	55,2	57,3	64,0	69,8	77,5	79,2	84,5
50	9,9	18,8	25,1	30,8	35,0	37,6	39,4	41,2	42,8	44,6	48,5	52,1	55,2	58,1	60,1	66,9	72,8	81,6	83,9	89,8
60	11,0	20,0	26,1	31,7	36,4	38,5	40,5	42,5	44,1	45,8	50,1	54,0	57,5	60,5	62,7	69,8	74,0	85,1	88,0	93,9
80	11,5	20,4	27,7	33,6	38,7	41,1	43,0	44,8	46,5	48,1	52,4	56,4	59,9	63,4	65,7	74,0	81,0	90,4	93,9	100,4
1·10 ²	11,5	21,1	28,9	35,2	39,9	43,0	45,3	47,2	48,8	50,5	54,5	58,3	62,2	65,7	68,6	77,5	84,5	95,1	98,0	105,1
2·10 ²	12,7	23,5	32,4	39,2	44,6	47,9	50,5	52,6	54,6	56,4	60,8	65,3	69,7	74,0	77,2	88,0	95,7	108,0	112,1	120,9
5·10 ²	13,8	24,6	35,2	43,9	50,5	54,5	57,3	58,8	62,5	64,6	69,8	74,8	79,8	84,5	88,5	101,1	110,4	124,4	129,7	139,7
1·10 ³	15,5	28,2	39,2	48,1	55,2	59,2	62,5	65,3	67,8	70,4	76,1	81,7	87,6	92,7	97,0	110,9	120,9	137,9	143,2	155,0
2·10 ³	17,6	30,5	42,3	52,4	59,9	64,1	67,4	70,4	73,2	75,7	82,2	88,5	94,6	100,4	104,0	120,9	132,1	150,3	156,1	168,5
5·10 ³	18,8	33,1	45,6	56,4	65,7	70,0	74,0	77,0	80,2	82,8	90,2	97,4	104,2	110,9	115,5	132,7	146,8	166,7	173,8	186,7
1·10 ⁴	18,8	35,2	48,5	60,3	69,3	74,7	79,1	82,9	85,2	89,2	97,2	104,5	111,5	118,6	124,7	143,2	156,7	179,0	187,8	201,3
2·10 ⁴	21,1	38,4	51,9	63,4	72,8	78,2	83,1	87,3	91,1	94,5	102,7	110,8	118,6	126,2	131,7	152,6	167,3	190,8	201,9	216,0
5·10 ⁴	23,3	42,3	56,4	68,6	78,1	83,4	88,7	93,4	97,9	102,1	111,5	120,4	128,4	136,2	142,0	164,9	181,4	206,6	218,4	233,6
1·10 ⁵	30,5	50,5	64,6	75,1	82,8	88,3	93,5	98,1	102,5	106,8	116,9	126,6	135,7	144,4	150,7	173,8	191,4	218,4	231,3	248,9
2·10 ⁵	38,3	56,7	69,8	79,4	86,9	92,4	97,7	102,8	108,0	112,7	125,1	135,6	145,1	153,8	160,2	177,3	201,9	231,3	245,4	263,0
5·10 ⁵	44,8	61,5	73,7	83,7	91,6	98,1	103,9	109,5	114,8	119,7	133,8	142,5	152,6	162,0	169,2	196,0	214,8	247,1	261,8	281,2
1·10 ⁶	49,3	66,4	79,8	89,9	97,4	103,7	109,2	114,1	119,5	124,4	140,2	149,8	160,6	171,4	178,6	205,4	225,4	260,6	274,7	295,8
2·10 ⁶	67,6	73,1	84,5	93,3	101,0	107,4	113,6	119,7	125,6	131,5	148,4	157,8	169,2	179,6	187,2	213,7	237,1	272,4	287,6	308,8
5·10 ⁶	59,4	79,7	91,6	100,6	108,0	114,1	120,2	126,0	133,7	133,8	154,7	165,8	178,0	189,0	197,8	227,8	250,1	287,6	302,9	327,5
1·10 ⁷	64,0	84,9	95,7	130,7	110,3	117,4	123,6	130,0	136,2	142,0	160,0	170,8	183,6	194,9	203,4	236,0	259,4	299,4	314,6	340,5

Методика розрахунку параметрів захисту від зовнішнього γ -опромінення на підставі визначення потужності поглинутих у повітрі доз, виражених у мікрогреях на годину

Для оцінки ефективності протирадіаційного захисту при роботі з джерелами гамма-випромінювання та розрахунку, в разі потреби, його параметрів необхідно у цьому варіанті мати наступні вихідні дані про умови опромінення:

- активність джерела гамма-випромінювання в беккерелях (Бк);
- енергію гамма-випромінювання в мега-електронвольтах (Мев);
- відстань від джерела випромінювання до об'єкта опромінення в метрах (м);
- час опромінення в годинах (год.);
- керму радіонукліда;
- потужність поглинутої в повітрі дози в мікрогреях за годину, (мкГр/год.);
- матеріал захисту (його назву та щільність);

Оцінка відповідності параметрів протирадіаційного захисту вимогам чинного законодавства базується на порівнянні розрахункової потужності поглинутої у повітрі дози (ПД) з допустимою потужністю поглинутої в повітрі дози (ДПД).

Величину потужності поглинутої в повітрі дози зовнішнього опромінення розраховують за формулою:

$$P = \frac{G \cdot A \cdot t}{R^2}, \quad (4)$$

де: P – потужність поглинутої в повітрі дози Гр/год. (розрахована за цією формулою потужність поглинутої в повітрі дози виражена в Гр/год. Для перерахунку в мкГр/год. її множать на 10^{-6});

A – активність джерела γ -випромінювання в беккерелях (Бк);

G – керма радіонукліда – сумарна початкова кінетична енергія всіх заряджених частинок, створюваних в одиниці маси опроміненого середовища дією вторинно іонізуючого випромінювання. Системною одиницею керми являється Грей, позасистемною – рад. Значення керми знаходять або в спеціальній таблиці або розраховують множенням гамма постійної радіонукліда на коефіцієнт – 6,55, а γ -постійну знаходять в табл. 1 (“Фізичні характеристики радіонуклідів”);

t – час опромінення в секундах (якщо цей час виражено в годинах, то для перерахунку на час, виражений в секундах його множать на 3600);

R – відстань від джерела випромінювання до об'єкта опромінення в метрах (м).

Аналогічно розрахункам за формулами (1) і (2), перетворивши формулу (4) відносно A , t або R , можна, при необхідності, визначити параметри захисту кількостю (активністю), відстанню або часом.

При цьому в перетворених формулах потужність дози позначається як P_0 і повинна відповідати величині допустимої потужності поглинутої у повітрі дози (див. табл. 6).

Розрахунок захисту від зовнішнього γ -опромінення за допомогою екранів проводиться аналогічно наведеному вище.

Перший етап розрахунку захисту з допомогою екранів – розрахунок потужності поглинутої у повітрі дози від конкретного джерела за наведеною вище формулою.

Другий етап розрахунку – визначення необхідної кратності ослаблення потужності поглинутої у повітрі дози. Для цього користуються формулою (5):

$$K = \frac{P}{P_0} \quad (5)$$

де: K – кратність (коефіцієнт ослаблення);

P – розрахована фактична потужність поглинутої в повітрі дози;

P_0 – допустима потужність поглинутої в повітрі дози (див.табл. 6).

Третій етап – знаходження товщини захисного екрану з відповідного матеріалу (свинцю, заліза, бетону) за величинами необхідної кратності ослаблення γ -випромінювання та його енергії. При цьому використовують ті ж таблиці 3, 4, 5.

Таблиця 6

Допустимі потужності поглинутої у повітрі дози гамма-випромінювання, які використовуються для проектування захисту від зовнішнього опромінення

Категорії опромінюваних осіб		Призначення приміщень і територій	Тривалість опромінення годин/рік	Допустима потужність поглинутої у повітрі дози мкЗв/година
персонал	Особа категорії А	Приміщення постійного перебування персоналу	1700	6,0
		Приміщення тимчасового перебування персоналу	850	12,0
	Особа категорії Б	Приміщення і територія об'єкта де можуть перебувати особи, які відносяться до категорії Б	2000	1,2
Особа категорії В		Інші приміщення і території	8800	0,06

Примітка: Числові значення ДППД приведені з подвійним коефіцієнтом запасу, що обумовлено особливостями проектування захисту.

Методика розрахунку товщини захисних пристроїв від рентгенівського випромінювання

Розрахунок товщини стін, підлоги, стелі приміщень рентгенкабінету, захисних ширм і екранів складається з трьох дій:

- визначення необхідного коефіцієнта послаблення рентгенівського випромінювання (К), який показує, у скільки разів потрібно знизити потужність дози до допустимої;

- визначення товщини захисту із свинцю, необхідного для зниження потужності поглинутої в повітрі дози, створюваної джерелом рентгенівського випромінювання, до допустимої величини;

- перерахунку знайденої товщини захисту із свинцю на той матеріал, з якого проектується або існують будівельні конструкції чи інші пристрої.

Для розрахунку коефіцієнта послаблення рентгенівського випромінювання при визначенні потужності дози в повітрі в рентгенах за годину користуються формулою (6):

$$K = \frac{I_{ст.}}{R^2 \cdot ДПД}, \quad (6)$$

де: $I_{ст}$ – стандартний анодний струм рентгенівської трубки (1-3 мА);

R – відстань від рентгенівської трубки до місця захисту, м;

ДПД – допустима потужність поглинутої у повітрі (експозиційної дози) випромінювання, Р/годину (див.табл. 7).

Таблиця 7

Допустима потужність дози (ДПД) в рентгенвідділеннях і кабінетах, мР/годину

Вид приміщень	проектуємих	Існуючих
Приміщення для постійного перебування персоналу (процедурна, пультова)	1,7	3,4
Приміщення не постійного перебування персоналу та суміжні	0,12	0,24
Палати для хворих	0,03	0,06

Необхідну товщину захисту із свинцю в залежності від коефіцієнта послаблення та напруги на рентгенівській трубці знаходять в спеціальній таблиці (табл. 8).

Товщину захисту з будівельних матеріалів знаходять на підставі їх свинцевих еквівалентів в табл.9.

Товщина захисту із свинцю (в мм) для послаблення первинного пучка рентгеновського випромінювання в залежності від коефіцієнта послаблення (К) та напруги на рентгенівській трубці, кВ

К	Напруга на рентгенівській трубці в кВ								
	60	75	100	125	150	180	200	220	250
0,001	-	-	-	0,1	0,6	1,2	1,8	1,9	2,2
0,002	-	-	0,2	0,3	0,8	1,5	2,2	2,3	2,8
0,003	-	-	0,4	0,5	1,0	1,7	2,4	2,7	3,4
0,004	-	0,1	0,5	0,7	1,1	1,9	2,6	2,9	3,7
0,005	-	0,2	0,6	0,8	1,3	2,0	2,7	3,1	4,1
0,007	0,1	0,4	0,9	1,0	1,5	2,3	3,0	3,5	4,7
5									
0,017	0,1	0,5	1,0	1,2	1,7	2,4	3,2	3,7	5,1
0,015	0,2	0,6	1,1	1,3	1,8	2,6	3,4	4,0	5,6
0,02	0,2	0,7	1,3	1,5	2,0	2,8	3,6	4,3	6,0
0,03	0,3	0,8	1,4	1,6	2,2	3,0	3,8	4,6	6,5
0,04	0,3	0,9	1,5	1,7	2,3	3,1	4,0	4,7	6,7
0,05	0,4	1,0	1,7	1,9	2,5	3,3	4,1	5,0	7,2
0,075	0,5	1,1	1,9	2,1	2,7	3,5	4,3	5,3	7,6
0,1	0,5	1,2	2,0	2,3	2,9	3,7	4,6	5,6	8,2
0,15	0,6	1,3	2,2	2,5	3,0	3,9	4,8	6,0	8,6
0,2	0,6	1,4	2,3	2,6	3,2	4,1	5,0	6,2	9,0
0,3	0,7	1,5	2,5	2,8	3,4	4,3	5,2	6,5	9,5
0,4	0,7	1,6	2,6	2,9	3,5	4,4	5,3	6,7	9,8
0,5	0,8	1,7	2,7	3,0	3,6	4,5	5,5	7,0	10,2
0,75	0,9	1,8	2,9	3,2	3,8	4,7	5,7	7,0	10,7
1,0	0,9	2,0	3,0	3,3	4,0	5,0	6,0	7,6	11,2
1,5	1,0	2,1	3,2	3,6	4,2	5,2	6,2	8,0	11,2
2	1,1	2,2	3,3	3,7	4,3	5,3	6,3	8,1	12,0
3	1,1	2,3	3,5	3,9	4,5	5,7	6,3	8,4	12,6
4	1,2	2,4	3,6	4,0	4,7	5,8	6,7	8,7	12,9
5	1,2	2,5	3,7	4,1	4,8	5,8	7,0	8,8	13,2

Свинцеві еквіваленти різних будівельних матеріалів

Матеріал	Об'ємна вага	Товщина свинцю, мм	Еквівалентна товщина матеріалу (мм) при напрузі на рентгенівській трубці (кВ)				
			60	75	100	125	150
Залізо	7,9	1	5	5,5	6	9	12
		2	10	11	12	18,5	25
		3	16	18	19	23	37
		4	22	24	25	38	50
		6	-	-	36	54	71
		8	-	-	50	72	93
		10	-	-	-	-	119
Барито-бетон	2,7	1	18	18	85	85	22
		2	36	37	160	160	38
		3	52	59	210	220	65
		4	70	80	355	345	90
		6	-	-	-	-	130
		8	-	-	-	-	175
Бетон	2,3	1	80	80	80	210	85
		2	160	160	160	160	160
		3	210	210	210	220	230
		4	320	338	355	345	290
		6	-	-	-	-	450
		8	-	-	-	-	560
Цегла повнотіла	1,6	1	120	120	130	130	130
		2	240	240	240	240	240
		3	360	350	340	340	340
		4	470	455	430	430	550
		6	-	-	-	-	430

Свинцевий еквівалент просвинцьованої гуми:

щільністю $3,3 \text{ г/см}^3$ – 0,2 мм Pb;

щільністю $5,8 \text{ г/см}^3$ – 0,45 мм Pb.

Методика розрахунку захисту від рентгенівського випромінювання при визначенні потужності доз в мкГр/годину

Аналогічно розрахункам в рентгенах на годину при вираженні потужності доз в мкГр/год., розрахунок захисту від рентгенівського випромінювання екрануванням ґрунтується на визначенні коефіцієнта (кратності) ослаблення потужності

поглинутої в повітрі дози рентгенівського випромінювання ПД при відсутності захисту до рівня допустимої потужності поглинутої в повітрі дози (ДПД) в тій же точці приміщення за рахунок екрану.

Стаціонарні засоби протирадіаційного захисту процедурної рентгенівського кабінету (стіни, стеля, підлога, вікна, двері, оглядове вікно між процедурною і кімнатою управління) повинні забезпечувати ослаблення рентгенівського випромінювання до рівня, при якому потужність поглинутої в повітрі дози на робочих місцях персоналу, в суміжних приміщеннях та на прилеглий до процедурної території, при розміщенні рентгенкабінету на першому поверсі не буде перевищувати допустимої потужності поглинутої дози.

Кратність ослаблення рентгенівського випромінювання (К) розраховується за формулою (7):

$$K = \frac{ПД}{ДПД} = \frac{10^3 \cdot H \cdot W \cdot N}{30r^2 ДПД}, \quad (7)$$

де: ПД – розрахована фактична потужність поглинутої у повітрі дози рентгенівського випромінювання в контрольованій точці, мГр/годину;

ДПД – допустима потужність поглинутої у повітрі дози за засобами стаціонарного захисту, мкГр/год. (див.табл. 10);

10^3 – коефіцієнт для перерахунку потужності поглинутої у повітрі дози, вираженої в мГр на потужність виражену в мкГр;

H – радіаційний вихід – потужність поглинутої у повітрі дози в первинному пучку рентгенівського випромінювання на відстані 1 метра від фокусної плями рентгенівської трубки мГр · м²/мА·хв. Значення радіаційного виходу беруть з технічного паспорта рентгенівської трубки, а при його відсутності з таблиці (табл. 11).

W – робоче навантаження (анодний струм) рентгенівського апарата (мА·хв)/тиждень. Воно розраховано, виходячи з регламентованої тривалості проведення рентгенологічних досліджень при стандартизованих значеннях анодної напруги. Ці дані в залежності від типу і призначення рентгенівського апарата приведені в таблиці 12.

N – коефіцієнт спрямованості випромінювання. В рентгенівських апаратах цей коефіцієнт приймається рівним 1, в апаратах з рухомим джерелом випромінювання (рентгенівський комп'ютерний томограф, панорамний томограф) коефіцієнт спрямованості дорівнює 0,1, а у напрямках, куди потрапляє тільки розсіяне випромінювання - 0,05.

30 – значення нормованого часу роботи рентгенівського апарата впродовж тижня (год/тиждень);

г – відстань від фокуса рентгенівської трубки до точки вимірювання рівня випромінювання в метрах визначається за проектною документацією на рентгенівський кабінет.

Таблиця 10

Допустимі потужності поглинутої дози рентгенівського випромінювання (ДПД) за стаціонарним захистом процедурної рентгенівського кабінету

Приміщення, територія		ДПД мкГр/г	ЛД мЗв/рік
1	Приміщення постійного перебування персоналу категорії А (процедурна, кімната управління, кімната для приготування барієвої суміші, фотолабораторія, кабінет лікаря)	13,0	20,0
2	Суміжні приміщення з процедурною рентгенівського кабінету у горизонтальному та вертикальному напрямках, що мають місця постійного перебування персоналу категорії Б	2,5	5,0
3	Суміжні приміщення з процедурною рентгенівського кабінету у горизонтальному та вертикальному напрямку без постійних робочих місць (хол, гардероб, східці, коридор, кімната відпочинку, туалет, комора та інші)	10,0	5,0
4	Приміщення епізодичного перебування персоналу категорії Б (технічний поверх, підвал, горище тощо)	40,0	5,0
5	Палати стаціонару, суміжні у горизонтальному та вертикальному напрямку з процедурною рентгенівського кабінету	1,3	1,0
6	Територія прилегла до зовнішніх стін процедурної рентгенівського кабінету	2,8	1,0
7	Житлові приміщення суміжні з процедурною рентгеностоматологічного кабінету	0,3	1,0

Значення радіаційного виходу H на відстані 1 м від фокусу рентгенівської трубки (анодна напруга постійна, сила анодного струму 1 мА, додатковий фільтр 2 мм А1, для 250 кВ – 0,5 мм Сu)

Анодна напруга, кВ	40	50	75	100	150	200	250
Радіаційний вихід, мГр · м ² (мА · хв.)	2	3	6,3	9	18	25	20

Стандартизовані значення робочого навантаження W і анодної напруги U при розрахунку стаціонарного захисту

№	Рентгенівська апаратура	Робоче навантаження, (мА · хв.)/тиждень	Анодна напруга, кВ
1	Рентгенофлюорографічний апарат без захисної кабіни	4000	100
2	Рентгенофлюорографічний апарат з захисною кабіною, цифровий флюорограф, рентгенодіагностичний апарат з цифровою обробкою зображення	2000	100
4	Рентгенодіагностичний комплекс з повним набором штативів	1000	100
5	Рентгенівський апарат для рентгеноскопії (перше робоче місце – поворотний стіл штатив ПСШ) - в вертикальному положенні ПСШ - в горизонтальному положенні ПСШ	800	100
		200	100
6	Рентгенівський апарат для рентгенографії (2 і 3 робочі місця – стіл знімків)	1000	100
7	Ангіографічний комплекс	1000	100
8	Рентгенівський комп'ютерний томограф	400	125
9	Хірургічний пересувний апарат з підсилювачем рентгенівського зображення	200	100
10	Палатний рентгенівський апарат	200	90
11	Рентгеноурологічний стіл	400	90
12	Рентгенівський апарат для літотрипсії	200	90
13	Маммографічний рентгенівський апарат	200	40
14	Рентгенівський апарат для планування променевої терапії (симулятор)	200	100
15	Апарат для близькодистанційної рентгенотерапії	5000	100

№	Рентгенівська апаратура	Робоче навантаження, (мА · хв.)/тиждень	Анодна напруга, кВ
16	Апарат для далекодистанційної рентгено-терапії	12000	250
17	Остеоденситометр для всього тіла	200	номінальне
18	Остеоденситометр для кінцівок	100	70

Розрахунок захисту прийнято проводити для точок, розміщених:

- впритул до внутрішньої поверхні стін приміщень, які прилягають до процедурної рентгенівського кабінету або зовнішніх стін;

на відстані 0,5м від рівня підлоги при розміщенні процедурної під приміщенням, що має захист;

на відстані 2м від рівня підлоги при розміщенні процедурної над приміщенням, що має захист.

Використовуючи розраховані значення кратностей ослаблення (К) за таблицею 8 з врахуванням анодної напруги на рентгенівській трубці знаходять свинцеві еквіваленти захисту, які використовують для наступного розрахунку товщини захисту з інших матеріалів (табл. 9).

Матеріали для самоконтролю: Завдання (задачі) для самоконтролю

1. Передбачається, що джерело гама-випроміювання цезію-137, активність якого 10 кюрі (37 ГБк), в захисному контейнері з свинцю буде постійно знаходитися у радіоізотопній лабораторії на віддалені 3 м від робочих місць персоналу. Чи буде забезпечена при цьому безпечність працюючих в лабораторії.

2. Чи достатня захисна ефективність стіни між процедурною рентгенкабінету і суміжною лабораторією з ½ повнотілої цегли (12 см) та 4 см звичайної штукатурки? Відстань від фокусу рентгенівської трубки до точки за стіною 2,5 м. Анодний струм на трубці 3 мА, напруга 250 кВ.

7. Література

Основна:

1. Гігієна та екологія. Підручник. / За ред. В.Г.Бардова. – Вінниця: Нова книга, 2006.-720 с.

2. Радіаційна гігієна: Підручник / за редакцією проф. В.Я. Уманського та проф. С.Т. Омельчука. – Донецьк: Норд-Прес, 2009. – 143 с.

3. Мащенко М.П., Мечов Д.С., Мурашко В.О. Радіаційна гігієна. – Харків: Ін-т монокристалів, 1999. – С.267-293.

4. Руководство к лабораторным занятиям по радиационной гигиене / Под ред. Кроткова Ф.Г. – М.: Медицина, 1980. – С.12-123.

Додаткова:

1. Нікберг І.І. Радіаційна гігієна. – К.: "Здоров'я", 1999. – С.116-124.

2. Ластков О.О. Практикум з радіаційної гігієни. – К.: „Здоров'я”, 1967. – 159с.