



ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5-6 ДОЗИ ВИПРОМІНЮВАННЯ

❖ **Мета роботи:** ознайомитися з основними радіаційними величинами, що використовуються для оцінки дії іонізуючого випромінювання

❖ **Завдання роботи:** знати дози опромінення, їх види та основні характеристики; вміти здійснювати перехід від системних до позасистемних одиниць і навпаки.



Теоретична частина

Основними радіаційними величинами, що використовуються для оцінки дії іонізуючого випромінювання на об'єкти довкілля, є доза випромінювання та потужність дози.

Під *дозою випромінювання* розуміють величину поглинутої енергії в одиниці маси або об'єму речовини. Розрізняють три види доз: експозиційну, поглинену та еквівалентну (біологічну) (рис. 2.1).

Наказом Мінекономрозвитку України від 04.08.2015 № 914 визначені одиниці SI (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Похідні одиниці SI, які мають спеціальні назви та позначення [3]

Назва величини	Одиниця						
	спеціальна назва	спеціальне позначення		вираження через одиниці SI			
		міжн.	укр.	інші		основні	
				міжн.	укр.	міжн.	укр.
Активність радіонукліду	бекерель	Bq	Бк			s ⁻¹	c ⁻¹
Поглинута доза	грей	Gy	Гр	J·kg ⁻¹	Дж·кг ⁻¹	m ² ·s ⁻²	m ² ·c ⁻²
Еквівалентна доза	зіверт	Sv	Зв	J·kg ⁻¹	Дж·кг ⁻¹	m ² ·s ⁻²	m ² ·c ⁻²

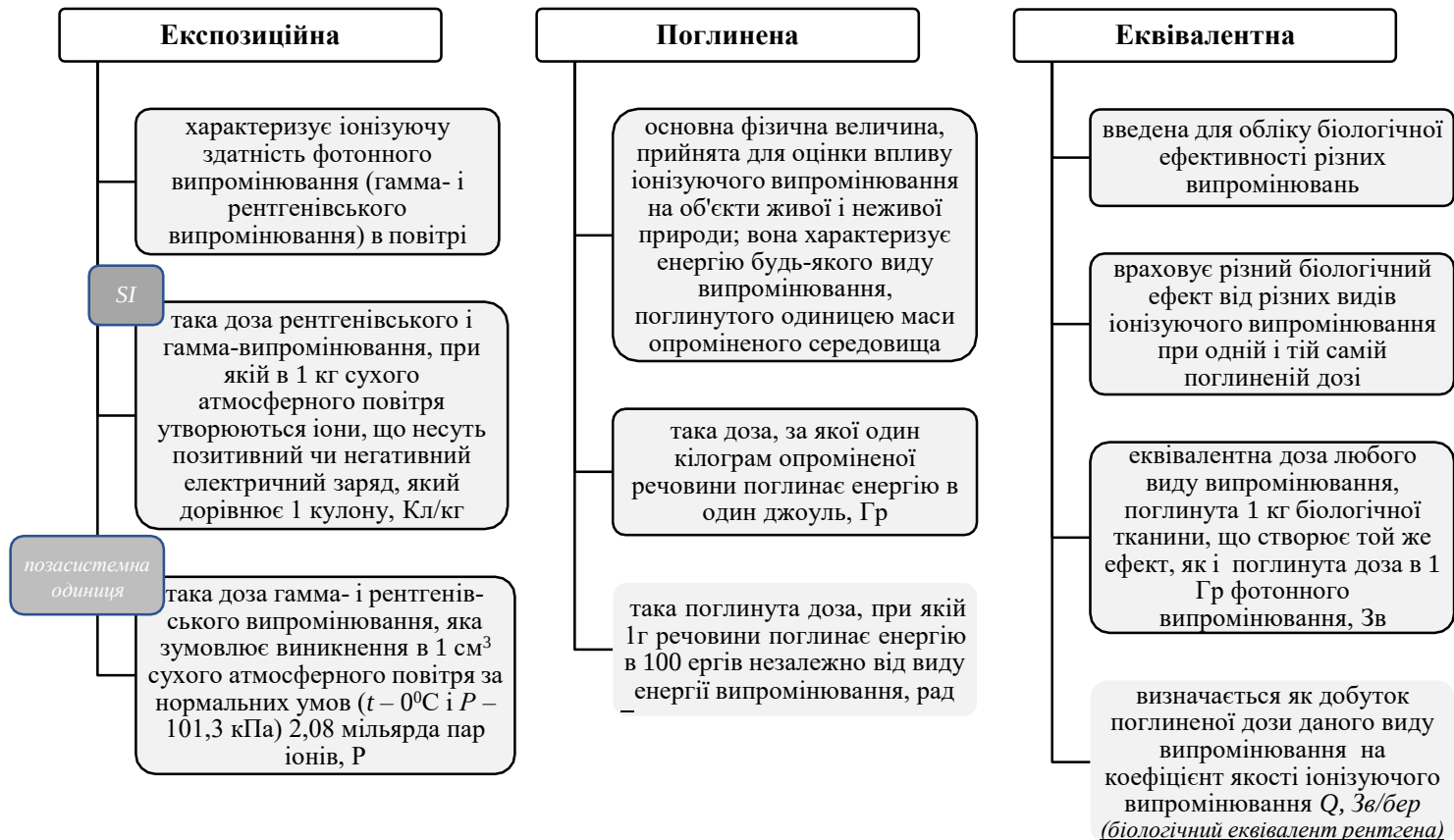


Рис. 2.1. Види доз випромінювання (побудовано та узагальнено авторами за даними [1-4])

Значення доз та ступінь їх впливу на організм людини проілюстровано на рис. 2.2*.

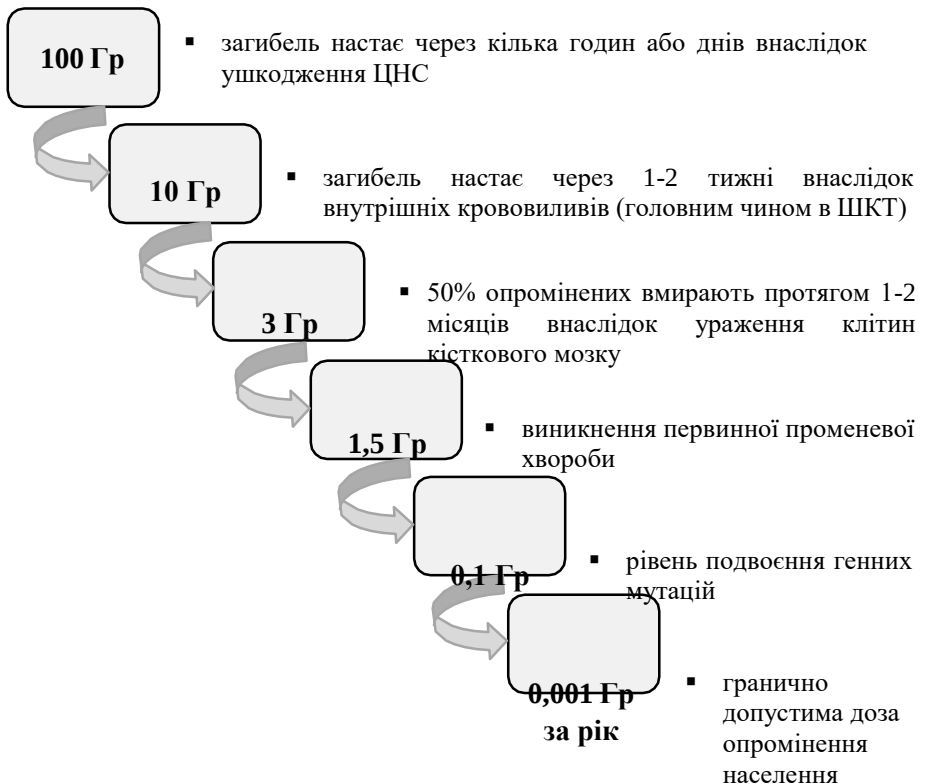


Рис. 2.2. Значення доз та ступінь їх впливу на організм людини

Між поглинутою і експозиційною дозами існують такі співвідношення:

— для повітря

$$D_{\text{експ}} (P) = 0,877 D_{\text{погл}} (\text{рад})$$

$$D_{\text{погл}} (\text{рад}) = 1,14 D_{\text{експ}} (P)$$

$$D_{\text{експ}} (P) = 0,93 D_{\text{погл}} (\text{рад})$$

* ЦІКАВІ ФАКТИ



Відомо, що радіація не має кольору, запаху і смаку, але при потраплянні до зони радіаційного забруднення багато людей "відчуває" підвищений радіаційний фон. Насправді людина може отримати смертельну дозу радіації або проковтнути радіоактивну речовину, нічого при цьому не відчувши

– для біологічної тканини
введене поняття *еквівалентна
доза*

$$D_{\text{погл}} (\text{рад}) = 1,07 D_{\text{експ}} (\text{Р})$$

Еквівалентна доза (рис. 2.1) визначається за формулою:

$$D_{\text{екв}} = Q_i \cdot D_{\text{погл}} \quad (2.1)$$

Коефіцієнт якості випромінювання Q показує, у скільки разів ефективність біологічного впливу даного виду випромінювання більша за ефективність біологічного впливу гамма-випромінювання при однаковій поглинутій дозі (таблиця 2.2.).

$$Q_i = D_{\text{рентг}} / D_{\text{і погл}} \quad (2.2)$$

Таблиця 2.2

Значення коефіцієнта Q для різних видів випромінювання

Вид випромінювання	Q
Фотони і бета-випромінювання (незалежно від енергії випромінювання)	1
Протони з енергією $> 2\text{MeV}$	5
Нейтрони з енергією $< 10\text{keV}$	5
- з енергією $10\text{-}100\text{keV}$	10
- з енергією $0,1\text{-}2\text{MeV}$	20
- з енергією $2\text{-}20\text{MeV}$	10
- з енергією $> 20\text{MeV}$	5
α -випромінювання	20

Потужність дози визначає міру зараження території радіоактивними речовинами та є збільшенням дози за одиницю часу (рівень радіації). Тобто, показує ту дозу, яку людина може отримати, перебуваючи на забрудненій території (Р/год , бер/год , рад/год). Потужність експозиційної дози γ -випромінювання визначається за формулою :

$$P = K\gamma \cdot A/R^2 [\text{Р/год}], \quad (2.3)$$

де A – активність джерела випромінювання, мКі ;

R – відстань до джерела випромінювання, см ;

$K\gamma$ – іонізаційна γ -постійна радіонукліду, $\text{Р}\cdot\text{см}^2/\text{год}\cdot\text{мКі}$ (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

Значення γ -постійних деяких радіонуклідів

Нуклід	K_γ	Нуклід	K_γ
^{24}Na	18,13	^{131}I	2,16
^{40}K	0,78	^{137}Cs	3,24
^{59}Fe	6,17	^{144}Ce	0,13
^{60}Co	12,85	^{226}Ra	8,40
^{65}Zn	3,06	^{235}U	0,71

При опроміненні тіла людини дози опромінення для різних органів і тканин можуть суттєво відрізнятися, оскільки різні органи і тканини нашого організму володіють різною чутливістю до опромінення.*

Для більш об'єктивної оцінки отриманих доз опромінення введений термін ефективна еквівалентна доза – сума добутоків еквівалентних доз на відповідні коефіцієнти W_T для різних органів і тканин організму:

$$D_{\text{ЕЕД}} = \sum W_T \cdot D_{\text{ЕКВТ}}$$

Коефіцієнти порівняння W_T (таблиця 2.4) дають змогу оцінювати ризик наслідків опромінення тіла людини або окремих його ділянок. Коефіцієнти W_T характеризують відношення ризику опромінення окремого органу або тканини до сумарного ризику при рівномірному опроміненні всього тіла.

Таблиця 2.4

Значення коефіцієнтів W_T для різних органів і тканин організму людини

Органи і тканини	W_T	Органи і тканини	W_T
Гонади (статеві залози)	0,20	Молочна залоза	0,05
Червоний кістковий мозок	0,12	Печінка	0,05
Товста кишка	0,12	Стравохід	0,05

*** ЦІКАВІ ФАКТИ**

У 1924 році були винайдені флюроскопи для "науково обгрунтованого" вибору взуття. Одягнувши взуття, покупці просвічували ноги у рентгенівських променях, а продавець оцінював, наскільки дане взуття підходить по нозі. Особливо рекомендували таку процедуру для дітей та інвалідів. У результаті покупці, і особливо продавці, отримували надзвичайно високі дози

Легені	0,12	Щитовидна залоза	0,05
Шлунок	0,12	Шкіра	0,01
Сечовий міхур	0,05	Кісткова тканина	0,01
Інші органи	0,05		

Для зручності та для узагальнення вище викладеного матеріалу, зроблена зведена таблиця, яка містить відомості щодо системних та позасистемних одиниць вимірювання радіоактивності та здійснення переходу між ними (див. табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Одиниці вимірювання радіоактивності

Фізична величина	Одиниця СІ	Позасистемна одиниця
<u>Активність радіонукліда</u> (<i>A</i>)	Бекерель (Бк) $1 \text{ Бк} = 2,703 \cdot 10^{-11} \text{ Кі}$	Кюрі (Кі) $1 \text{ Кі} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Експозиційна доза (<i>X</i>)	Кулон/кілограм (Кл/кг) $1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р}$	Рентген (Р) $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Поглинена доза (<i>D</i>)	Грей (Дж/г) $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$	Рад (рад) $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$
Еквівалентна доза (<i>H</i>) / ефективна доза	Зіверт (Зв)* $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$	Бер (бер) $1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Зв}$
Потужність експозиційної дозы	Кулон/кілограм в секунду (Кл/кг·с) $1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг} \cdot \text{с}$	Рентген/секунда (Р/с) $1 \text{ Кл/кг} \cdot \text{с} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р/с}$
Потужність поглиненої дозы	Грей/секунда (Гр/с) $1 \text{ рад/с} = 0,01 \text{ Гр/с}$	Рад/секунда (Рад/с) $1 \text{ Гр/с} = 100 \text{ рад/с}$
Потужність еквівалентної дозы/ потужність ефективної дозы	Зіверт/секунда (Зв/с) $1 \text{ бер/с} = 0,01 \text{ Зв/с}$	Бер/секунда (бер/с) $1 \text{ Зв/с} = 100 \text{ бер/с}$

* ЦІКАВІ ФАКТИ



Середнє значення ефективної еквівалентної дози опромінення для жителя Землі становить приблизно 2,8 мЗв за рік. Додаткове понадфонове опромінення не має перевищувати 1 мЗв за рік



Список літературних та інформаційних джерел

1. ГОСТ 15484-81 Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 марта 1981 г. № 1712. <http://docs.cntd.ru/document/1200015267>.

2. Директива Ради 2013/59/Євратом від 5 грудня 2013 року про встановлення основних норм безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання, і скасування директив 89/618/Євратом, 90/641/Євратом, 96/29/Євратом, 97/43/Євратом і 2003/122/Євратом : Євратом, Європейський Союз; Директива, Міжнародний документ, Перелік від 05.12.2013 № 2013/59/Євратом, 2013/59/ЄВРАТОМ. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_006-13.

3. Про затвердження визначень основних одиниць SI, назв та визначень похідних одиниць SI, десяткових кратних і частинних від одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також їх позначень та Правил застосування одиниць вимірювання і написання назв та позначень одиниць вимірювання і символів величин : Мінекономрозвитку України; Наказ, Правила від 04.08.2015 № 914. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1022-15>.

4. Про затвердження Державних гігієнічних нормативів "Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді" : МОЗ України; Наказ, Форма типового документа від 03.05.2006 № 256. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06>.



Практична частина

Запитання для самостійного контролю знань

1. Назвіть основні радіаційні величини, що використовуються для оцінки дії іонізуючого випромінювання на об'єкти довкілля?

2. Що таке доза випромінювання? Які види доз розрізняють?

3. Дайте визначення експозиційній, поглиненій та еквівалентній дозам.

4. Назвіть системні та позасистемні одиниці експозиційної, поглиненої та еквівалентної доз.

5. Які ефекти мають місце у організмі людини при опроміненні у 100, 10, 3, 1,5, 0,1 Гр та 0,001 Гр за рік?

6. Наведіть співвідношення, яке існує між поглиненою і експозиційною дозами для повітря?

7. Яке співвідношення існує між поглиненою і експозиційною дозами для біологічної тканини?

8. За якою формулою визначається еквівалентна доза?

9. Що являє собою коефіцієнт якості випромінювання?

10. Що визначає потужність дози? В яких одиницях вона вимірюється?

11. Як здійснити перехід між з системних до позасистемних одиниць потужності експозиційної, поглиненої та еквівалентної доз?

12. Чим, на Вашу думку, можна пояснити різну чутливість до опромінення органів і тканин організму?



Завдання для самостійного контролю знань

Завдання 1. Користуючись наведеними на рис. 2.2 значеннями поглинутої дози, розрахувати відповідні значення експозиційної дози випромінювання.

Хід виконання

Згідно даних рис. 2.2, загибель організму людини настає через кілька годин або днів внаслідок ушкодження центральної нервової системи при поглинутій дозі опромінення у 100 Гр. Для визначення відповідної цій дозі експозиційної дози слід скористатися співвідношеннями між цими дозами:

$$D_{\text{експ}} (P) = 0,93 D_{\text{погл}} (\text{рад}).$$

Проте, оскільки у таблиці значення поглинутої дози наводяться у Гр , нам необхідно попередньо перевести їх у рад . Як зазначено вище у теоретичній частині роботи

$$1\text{Гр} = 100\text{ рад}, \text{ отже } 100\text{ Гр} = 10000\text{ рад}.$$

Підставивши відповідне значення у формулу отримуємо:

$$D_{\text{експ}} = 0,93 \cdot 10000 = 9300\text{ Р}.$$

Аналогічно розраховуємо інші значення. За наявності дозиметричних приладів можна визначити потужність експозиційної дози у приміщенні і порівняти отримані дані зі значенням гранично допустимої дози за рік для населення (див. рис. 2.2).

Завдання 2. Визначити потужність експозиційної дози гамма-випромінювання за вихідними даними індивідуального завдання (таблиця 2.5).

Хід виконання

Для визначення потужності експозиційної дози гамма-випромінювання слід скористатися формулою:

$$P = K\gamma \cdot A/R^2.$$

Значення $K\gamma$ наведені в таблиці 2.3. Для прикладу візьмемо радіонуклід ^{131}I . Його гамма-постійна дорівнює $2,16\text{ Р}\cdot\text{см}^2/\text{год}\cdot\text{мКи}$.

Значення A – активності джерела випромінювання і R – відстані до джерела випромінювання наведені у таблиці 2.5. (індивідуальні завдання).

Але слід звернути увагу на одиниці вимірювання, так значення активності джерела наведені у Бк , а у формулі мають бути використані мКи .

Для прикладу візьмемо активність джерела у 200 Бк . Щоб перевести Бк у Ки скористаємось співвідношенням:

$$1\text{Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11}\text{Ки}, \text{ звідси } 200\text{Бк} = 540 \cdot 10^{-11}\text{Ки}.$$

Переводимо Ки у мКи :

$$540 \cdot 10^{-11} \text{ Ки} = 540 \cdot 10^{-11} \cdot 10^3 \text{ мКи} = 5,4 \cdot 10^{-6} \text{ мКи}.$$

Відстань до джерела випромінювання, наприклад, 1 м переводимо як вимагається у формулі у сантиметри = 100 см.

Після цього підставляємо отримані значення у формулу:

$$P = K\gamma \cdot A/R^2 = 2,16 \cdot 5,4 \cdot 10^{-6}/100^2 = 11,664 \cdot 10^{-10} \text{ Р/год}.$$

Таблиця 2.5

Вихідні дані для виконання завдання 2

Варіант	Нуклід	Активність джерела випромінювання, Бк	Відстань до джерела випромінювання, м
1	²⁴ Na	21	0,2
2	⁴⁰ K	115	0,6
3	⁵⁹ Fe	168	0,8
4	⁶⁰ Co	238	0,4
5	⁶⁵ Zn	598	0,6
6	¹³¹ I	475	0,23
7	¹³⁷ Cs	158	0,58
8	¹⁴⁴ Ce	254	0,69
9	²²⁶ Ra	259	0,48
10	²³⁵ U	472	23
11	²⁴ Na	489	15
12	⁴⁰ K	217	5,6
13	⁵⁹ Fe	2557	16
14	⁶⁰ Co	4467	56
15	⁶⁵ Zn	4669	2,6
16	¹³¹ I	1478	1,8
17	¹³⁷ Cs	6969	0,69
18	¹⁴⁴ Ce	154	0,55
19	²²⁶ Ra	894	0,78
20	²⁴ Na	2564	1,25
21	⁴⁰ K	489	0,97
22	⁵⁹ Fe	647	1,89
23	⁶⁰ Co	957	2,69
24	⁶⁵ Zn	1258	0,88
25	²³⁵ U	763	0,97

Завдання 3. При рентгенографії пальців людина одержує місцеве разове опромінення $\approx 0,6$ мЗв; черепа – 35 мЗв; зубів – 40 мЗв; хребта – 82 мЗв; при рентгеноскопії грудної клітки – 120 мЗв; при рентгеноскопії шлунка – 300 мЗв; при флюорографії легень – 2,5 мЗв. Розрахувати ефективну еквівалентну дозу опромінення всього тіла від кожної з вище зазначених процедур.

Хід виконання

При рентгенографії пальців людина одержує місцеве разове опромінення $\approx 0,6$ мЗв. Необхідно розрахувати ефективну еквівалентну дозу опромінення всього тіла від даної процедури. Для цього слід підсумувати добутки доз опромінення у різних органах і тканинах на відповідні значення коефіцієнтів порівняння W_T :

$$D_{ЕЕД} = \sum W_T \cdot D_{ЕКВТ}.$$

У виконанні цього завдання допоможе таблиця 2.4. Передивляючись наведені у таблиці органи і тканини організму, обираємо ті, які будуть піддаватися опроміненню при процедурі рентгенографії пальців:

- шкіра;
- кісткова тканина;
- інші органи (м'язи, сухожилля тощо).

Кожна з цих тканин отримала дозу опромінення 0,6 мЗв, яку необхідно помножити на відповідні коефіцієнти:

- шкіра:

$$0,6 \cdot 0,01 = 0,006 \text{ мЗв}$$

- кісткова тканина:

$$0,6 \cdot 0,01 = 0,006 \text{ мЗв}$$

- інші органи:

$$0,6 \cdot 0,05 = 0,03 \text{ мЗв.}$$

Сумуємо добутки і отримуємо значення ефективної еквівалентної дози опромінення від даної процедури – 0,042 мЗв.

... Аналогічно розраховуємо ефективні еквівалентні дози ...
... опромінення від інших процедур. ...